大規模土工事における高度情報化施工と施工CALSの開発に関する研究(Dissertation_全文)

AUTHOR(S):

大前, 延夫

大規模土工事における
高度情報化施工と施工 CALS の開発に関する研究

2008 年 6 月

大　前　延　夫

要　旨

これからの建設施工に対する社会的要請としては、コスト縮減と環境負荷低減が 2 つの柱になると予想される。前者は、高齢社会で税収の増加が見込めない我が国においては建設投資の削減は避けられず、このため、限られた予算を有効に使いインフラ整備を行うためには、所定の品質のインフラをできるだけ安いコストで構築する技術の開発が求められるためである。一方，京都議定書が発行されて、日本でも 1990 年のレベルから 6%削減という目標値が設定されたものの、CO_2 は減るどころか、年々増加している現状を鑑みると、建設分野にもその対策が求められることが予想されるからである。一般に自動車や電気製品などの製造業では、従前より生産コストの削減と環境負荷低減に対する積極的な取り組みを進めてきた。これらの製造業では、省力化や合理化については、すでにかなりのレベルまで進んでいる。さらなるコスト縮減や環境負荷低減を達成しようとすると新たな技術を導入せざるを得ず、そのための投資が必要になる。この場合、環境負荷低減のために新たな取り組みを行おうとすると、追加のコストを要し、コスト縮減と環境負荷低減は相反する施策となってしまう。建設分野が、自動車や電気製品などの一般製造業と大きく異なるのは、計画や設計段階で不確定要因が多いため、安全側の施工計画や設計が行われる点である。一般製造業でもこの傾向がないわけではないが、建設、特に土木工事では、天候、地質、材料のバラツキを始め、計画や設計段階で確定的な設定を行うことができない要因が多いため、計画・設計段階では、比較的悪い条件でも施工が行えるだけの若干の余裕を持った計画を立て、また安全率を見込んだ設計を行う場合が多い。現場の条件が劣悪である場合、これらの施工計画や設計の余裕は活かされることになるが、現場の条件が良好である場合には、これらの余裕の多くは過剰な投資になる。本研究では、建設分野において不確定要因を見込んで立てられた施工計画について、情報技術を駆使して時々刻々変化する現場の情報をできるだけ詳細に収集し、それに基づいて施工の合理化を図る情報化施工の構築を行った。この手法では、不確定要因を前提に計画や設計を行わざるを得ない建設工事において、実施工段階で情報技術を利用して得られた新たな情報に基づき、施工計画を適宜見直すことにより、必要以上のエネルギーや資材の投入を抑えることができるため、コスト縮減と環境負荷低減を両立させることができる。本研究では、大規模土工事にこの考え方を適用し、コスト縮減と環境負荷低減を両立させ得ることを示した。この手法は、情報を高度に活用し、現場を緻密に管理することから高度情報化施工と呼べるものであり、不確定要因が多い土木分野では、コスト縮減と環境負荷低減を両立させるだけの余裕があるケースが多いと考えられ、高度情報化施工の考え方が、様々な工事で適用されることを期待する。

目　次

第１章　序論

１．１ 研究の背景

公共工事などの建設投資額は 1995 年のピークより 15 年間で半減しており、今後の高齢社会で税収の増加が困難な我が国においては建設投資の大幅な増加は見込めない。このため、限られた予算を有効に使いインフラ整備を行うためには、所定の品質のインフラをできるだけ安いコストで構築する施工の合理化技術などの開発が求められている。

建設分野の生産性は、就業者数の削減の遅れ、一品生産など建設産業の特徴と発注制度による施工の硬直化により、その低下傾向は最近下げ止まっているものの、低下している。

一方、京都議定書の発効により建設分野も地球温暖化防止へ CO_2 などの発生低減への取り組みが求められている。環境負荷低減への取り組みについて一般製造業では、省エネ技術の導入、省資源化などにより取り組んでいるが、新しい生産機器の導入などは多大な設備投資と生産性の低下を招くことより限界があり、コストの縮減と環境負荷の低減それぞれが両立しての改善は困難と考えられている。

一般製造業では顧客ニーズの多様化による多品種少量生産へ、設計から製造に到る設計工程と製造工程の変更への短期化が求められているため、コンカレントエンジニアリングを導入し、工程の簡素化と情報の共有と双方向化による設計と生産の変更期間の短縮と生産性の向上への取り組みが行われている。

建設分野での情報技術利用の進歩は、以前より多くの工事で施工情報の利用による工事の合理化・最適化への取り組みを実施されており、工期の短縮、品質の向上などに成果を得ているが部分的な成果にとどまっており、最近総合的な取り組み事例も発表されているものの、情報の有効利用による工事最適運営への取組みは模索段階である。

具体的には、1989 年に空港造成工事において施工情報のデータベース化による階層管理手法と品質管理の改善により、作業工程の短縮とともに施工の品質を向上させることに成功させ、1993 年のダム工事では、原石山の砕石工程を分析した上で、地山を 3 次元と捉えてデータ管理することによる歩留まり率の向上と掘削量の低減の効果を示し、1995 年には火力発電所造成工事においては出来形管理図面や帳票類について、現場と企業者間での情報共有を図り施工管理に関わる事務所作業の大幅削減を実現させ、1997 年には、施工システムの体系化と汎用化を目的に施工情報を従来の 2 次元情報である図面情報に加えて、3 次元情報として取り扱われる地形データとの連携に努め、施工 CALS の中核になる施工情報管理プログラムを開発した。1999 年から 2004 年にかけては大規模盛土工事において、締固め重機の GPS による軌跡データを基本データにした、盛土施工の効率化と盛土品質の高度化を可能とするシステムを開発運用し、施工時に取得できた情報を効率的に利用していくことの効用を示した。2000 年空港島造成の直投工事では、投入土砂の堆積シミュレーション効果や海底地形計測結果に基づく土運船の配船計画など、一連の施工計画・管理をすべてコンピュータ上で実施するという従来の施工方法の考え方を越える試みを成功させて

いるが、工事運営の部分的な取組みに留まっている。

国土交通省など発注者は、1995 年度より公共工事の品質向上、コスト削減への観点から建設 CALS／EC の調査研究に着手し実証試験、工事現場への導入を行っている。建設 CALS(Continuous Acquisition and Life-cycle Support)は、「部門間・企業間において、設計から製造、流通、保守に至る製品等のライフサイクル全般にわたる各種情報を電子化し、技術情報や取引情報をネットワークを介して交換及び共有し、製品等の開発期間の短縮、コストの削減、生産性の向上等を図ろうとする活動であり概念」とされているが、現状の建設 CALS/EC アクションプログラムでは書類の電子化とその交換と情報データベース化と共有する計画にとどまっている。

一方、合理化によるコスト縮減への取組みについて、建設分野ではダムトンネルなど構築物のコストの最適化を建設段階に留まらず供用後の維持費用、設備更新までの全ライフサイクルでの費用の最適化を概念としたライフサイクルコストの最適化への取組みも始まっている。

１．２ 研究の目的

本研究の目的は、大規模土工事へ高度情報化施工の施工支援システムである施工 CALS を開発し、施工 CALS による高度情報化施工を適用し、建設分野が求められている緊急の課題である環境負荷低減とコスト縮減をはじめとした課題の解決を示すことである。

高度情報化施工は、不確定要因を前提に計画や設計を行わざるを得ない建設工事において、実施工段階で情報技術を利用して得られた新たな情報に基づき，施工計画を適宜見直すことにより、必要以上のエネルギーや資材の投入を抑えることができるため、コスト縮減と環境負荷低減をはじめとした様々な課題の解決を図るマネジメント技術であり、目的関数として品質と安全、環境と工期などを自由に、また複数の目的関数を取り上げることも可能であり、場合によっては相反する目的関数の選定も可能な手法である。

「施工 CALS」は、高度情報化施工実現を支援するシステムであり、CALS/EC で示されている「部門間・企業間において、設計から製造、流通、保守に至る製品等のライフサイクル全般にわたる各種情報を電子化し、技術情報や取引情報をネットワークを介して交換及び共有し、製品等の開発期間の短縮、コストの削減、生産性の向上等を図ろうとする活動であり概念」の実現を図るものである。施工 CALS は、企画、調査、設計、施工計画から施工段階で取得できる情報(以降、施工情報)に付加価値を与えると同時に新しい施工プロセスを具体化するための中心的技術として位置づけられるものであり、高度情報化施工の施工支援システムの開発に当たり筆者らが名づけたものである。

本研究ではコスト縮減に対し、安価な外国産の資材の使用、労務費の安い人材を雇用するなど直接的な資材費などの原価低減ではなく、調査、設計から施工段階の情報を活用できる情報プラットホームを整備し、情報の共有、双方向化と工程の簡素化などにより生産性向上、効率化を図ることによる施工の合理化を図り、品質向上、工期短縮など多くの工

事目的の実現を目指すものであり、環境負荷低減、コスト縮減など相反する工事目的の実現も可能であることを示すことである。

１．３ 研究の範囲と構成

本研究は、高度情報化施工を大規模土工事に導入し、関空１期時点の合理化施工の課題の解決へその支援システムである施工 CALS を開発し、関空２期埋立て材料の供給工事で運用し、緊急の課題である環境負荷低減とコスト縮減を施工の効率化、工程の簡素化など合理化により解決が図れることを示し、施工 CALS を他の工事への適用提案することにより汎用性と今後の取組みまでを記述するものである。

関空 2 期向けの埋立て材料を供給した大規模土工事(以下適用工事と記す)は、関空１期途中の 1988 年より設備設置をはじめ 1989 年より稼動し､1999 年開始した関空 2 期向けへの工事運営では、関空１期の不具合を改善し発注者、地域周辺より求められている「大量・安定的かつ環境負荷低減しての供給」の実現に取り組んだ。

適用工事は、兵庫県淡路市の北部の標高 150～200m 程度の山岳部に位置している。埋め立て材料の採掘は、海岸線より 2～4km 程度の山間部で地山を発破にて爆破し、ブルドーザにて集土し、バックホウ、ホイールローダなど積込み機にてダンプトラックに積込み、ダンプトラックにより破砕施設まで運搬し、破砕機で最大骨材寸法 200ｍｍまで破砕し、貯鉱場に一時ストックし、その後生産された埋め立て材料をベルトコンベアにて海岸まで運搬し、シップローダにより土運船に積込みまでを実施するものである。

適用工事の特徴は、広範囲な採石ヤードのある採土地より船積みをする海岸部まで約 4km に及ぶ直列の作業工程配置となっており、その工程のいずこに不具合が発生しても最終工程の土運船への積み込みに影響を与えることであり、最下流工程の船積みが全工程を支配しており、船積みのキャンセルがあると出荷量の減少となることである。その稼動には、工事管理の技術者をはじめ、重機の稼動、設備の運転維持などの技能者と各地に散在する工程に、多くの工事従事者が運営参画している。

高度情報化施工は、建設分野において不確定要因を見込んで立てられた施工計画について，情報技術を駆使して時々刻々変化する現場の情報をできるだけ詳細に収集し，それに基づいて余分な不確定要素を排除することにより、施工の効率化を通じコスト縮減と環境負荷低減など相反する課題も解決が図れることを示す。建設分野が、自動車や電気製品などの一般製造業と大きく異なるのは、計画や設計段階で不確定要因が多いため、安全側の施工計画や設計が行われる点である。一般製造業でもこの傾向がないわけではないが、建設、特に土木工事では、天候，地質，材料のバラツキを始め、計画や設計段階で確定的な設定を行うことができない要因が多いため、計画・設計段階では、比較的悪い条件でも施工が行えるだけの若干の余裕を持った計画を立て、また安全率を見込んだ設計を行う場合が多い。現場の条件が劣悪である場合、これらの施工計画や設計の余裕は活かされることになるが、現場の条件が良好である場合には、これらの余裕の多くは過剰な投資になる。

情報利用への課題を関空１期工事でより抽出整理し「時間的要因」、「人的要因」と「空間的要因」を解決する施工支援システムとして高度情報化施工を基にした施工 CALS を開発適用した。

施工 CALS は、３次元 GIS、GPS、光ケーブルなど情報通信ツールと情報通信技術を活用し、情報の一元管理とリアルタイム分析手法を実用化することにより施工情報の有効活用を図るために開発したものである。施工 CALS が施工情報に付加価値を与えると同時に新しい施工プロセスを具体化するための中心的技術であり、施工情報を活用し、施工段階の余裕のある不確定要因より無駄を排除することへ、情報を活用し適切な判断による柔軟な施工を図ることである。

施工 CALS の運用により施工段階で「情報の一元化」、「情報のリアルタイム入手と分析」と「コンカレント化」を図り、情報の活用により技術者が適切な判断と柔軟な対応を実施をすることにより「生産量管理」、「発破管理」、「施工プロセスの改善」などに成果が得られることを示す。プロセスでの成果としてサイクルタイム短縮などと結果として目標を上回る出荷量の供給などを示し、コストの縮減については関空１期の施工時に比較しての工事コストの低減を、環境負荷の低減については単位量あたりの燃料消費量と CO_2 の発生量の関空 1 期工事に比較しての低減したことを示す。この運営事例と成果により施工 CALS による高度情報化施工が適用工事の大幅な合理化と多くの成果の実現を図ることを示す。

高度情報化施工の導入､施工CALSの開発と適用が多くの課題の解決が図れることなど、施工情報の取り扱い方が生産性の向上、効率化と工程の簡素化につながり合理化施工実現によるコスト縮減と環境負荷低減に大きく寄与し有効であることを示す。すなわち、施工 CALS が工事の全体最適化を図るシステムとして有効であり、地球温暖化へ CO_2 の発生削減など環境負荷低減に繋がる技術の一つであることを示す。また、建設目的物の維持・更新段階の範囲まで情報活用を発展させればライフサイクルでの最適化までも可能とする技術であり、多くの工種の工事への適用も可能な革新的なシステムであることを示す。

１．４　論文の構成

本論文は大規模土工事を対象にして、施工情報を活用することで建設施工の余分な不確定要素を排除し、品質・コスト・工期・安全および環境対策に対して、調査および設計の結果を最適な成果として反映させるための緻密な施工を実現するための手法と、その根幹を形成する施工支援システムである施工 CALS の開発に関する研究を関西国際空港第２期での工事を事例として取りまとめたものであり、全体で第 6 章より構成される。

第 1 章は序論であり、マネジメント技術である高度情報化施工を大規模土工事への導入と施工支援システムである施工 CALS の開発と適用について研究の必要性と本論文の概要を示した。

第 2 章は本研究の背景に関して記述するものであり、本章において従来の大規模土工事の問題点を整理し、高度情報化施工を導入する意義およびその支援システムである施工

CALS を開発する目的を述べるものである。これからの建設施工に対する社会的要請としては、コスト縮減と環境負荷低減があり、前者は高齢社会で税収の増加が困難な我が国においては建設投資の削減は避けられず、限られた予算を有効に使うために、所定の品質のインフラをできるだけ安いコストで構築する施工の効率化など合理化施工への技術の開発が求められること、および後者は京都議定書が発行されて地球温暖化ガスの発生量を 1990 年のレベルから 6%削減という目標値が設定されたことより、建設分野にもその対策が求められていることから、これまでのような計画や設計段階で余分な不確定要因によって安全側の施工計画や設計がなされてきたという問題点を見直す必要があること、そのためには、天候、地質あるいは材料のバラツキなどの不確定要因を見込んで立てられた施工計画に対して、情報技術を駆使して時々刻々変化する現場の情報をできるだけ詳細に収集し、それに基づいて技術者の判断と計画を見直すことにより施工の合理化を図る情報化施工の構築を図る本研究の手法が有効であることを詳細に記述する。関西国際空港第 1 期工事への大規模土工事を事例に挙げ、従来の問題点を再度検証するものである。当該工事では施工情報の収集は実施されていたが、その情報の入手に手間がかかるという「時間的な要因」、立場により求める情報が異なるという「人的な要因」および現場の各所に情報が散在するために情報の移動が必要になるという「空間的な要因」の 3 要因によって、施工情報を活用し工事を効率的に運営することが実現しなかったという問題点を整理し、コスト縮減をはかり環境負荷に対しても低減が可能な大規模工事のためには、前記の 3 要因に対する解決策を構築することが必要であることを実例と共に示すことによって、本研究で実現した施工システムの開発の着目点を明らかにする。

第 3 章は本研究で提唱する高度情報化施工の概念について詳述し、それを実現するための支援システムである施工 CALS の詳細を記述する。高度情報化施工は、建設分野において不確定要因を見込んで立てられた施工計画について、情報技術を駆使して時々刻々変化する現場の情報をできるだけ詳細に収集し、それに基づいて施工の合理化を図る情報化施工を行うという本研究が構築した施工法のことを称するものであり、実施工段階で情報技術を利用して得られた新たな情報に基づき、施工計画を適宜見直すことにより、必要以上のエネルギーや資材の投入を抑えることができるため、コスト縮減と環境負荷低減を実現させるものである。また大規模土工事では、採掘作業から船積みまでが直列的な作業になり、広大な工事現場において、それぞれの持ち場での工事の工程のどこかで不具合が発生しても、全体が影響を受けるという特徴があり、高度情報化施工を実現するためには、必要な施工情報を一元化し、必要な時にリアルタイムで手間をかけずに情報を持ち場に提供するシステムが必要であり、この概念を実現させるものとしての施工 CALS の必要性を、関西国際空港第 2 期工事の埋め立て工事へ 5 年間で 3,500 万 m^3 の採掘土の供給による造成工事を事例に記述するものである。

第 4 章は大規模土工事に対する施工支援システムである施工 CALS の詳細について記述する。本システムの研究においては、重機のサイクルタイム、運搬量、破砕機の負荷、ベ

ルトコンベアの積込みレートおよび土運船の到着時間など採掘地から船積み桟橋までの情報を必要な情報に加工し、リアルタイムに提供するための GPS 技術の開発、光ケーブルや IC カードなどの IT 機器の大規模土工事へ適用するための技術開発といった情報収集のためのハード機器の研究だけでなく、コスト縮減と環境負荷低減を実現するために、採土地の重機稼動、地質情報や生産量などをリアルタイムに把握するための情報収集に対する 3 次元マッピング機能、さらにはネットワークを利用し、各情報ユニットに格納して一元的に系統立てて管理するための GIS を利用した情報管理、判断支援機能といった要素技術の研究開発についての詳細を記述する。

第 5 章は、関西国際空港第２期工事を対象にして、本研究で開発した施工支援システムの運用による情報活用事例と施工 CALS による高度情報化施工の導入の効果を実証した結果を記述する。具体的には岩種別の採掘数量の把握がリアルタイムで可能となり、情報の共有化と双方向化および情報の活用による火薬使用量の最適化と長期の採掘計画の策定が実現したことによって、施工効率、コストおよび環境の負荷がどの程度実現したのかを検証する。特に施工効率については、出荷量、重機の作業能力、燃料消費率、出荷土量と燃料消費および運搬効率を具体的に算定し、環境面に対しても CO_2 の削減と発破振動の低周波の影響について検証する。本システムの導入効果を図ることができた事例と導入を提案する事例として 3 次元 GIS の適用を NATM 工法の現場サイトでのコンクリートの品質管理と建造物内の配管の維持管理について考察し、情報の共有とネットワーク化さらに施工情報のデータベース化が多くの工事に対して有用であることを検討する。具体的には、本研究で開発した施工 CALS は、情報の管理単位である情報ユニットの形状を工種に応じて立方体から管状や球状あるいはリング状等の自在に変形させることによって、さまざまな工事に展開することが可能であることを示す。時々刻々と変化する施工情報を提供し、施工の合理化へ技術者の判断を支援による施工 CALS はその判断結果の入手も可能であり、この機能を利用した技術教育も可能であることを示した。これら適用による効果と適用事例の検証結果に基づき、研究開発の有用性を客観的に考察する。

第 6 章は結論として本研究の成果をまとめると共に、今後の課題として調査～設計～施工～維持管理～リニューアル～更新という一連の建設ライフサイクルの中で発生する情報を適切に管理し有効活用するためには、どのように対処する必要があるのかと情報の格納に採用した 3 次元 GIS のキューブの適合性について考察する。

第２章　高度情報化施工による建設施工

２．１　建設分野の課題と建設の現状

公共投資の削減による建設投資額全体の減少と建設業の生産性の低さなどの課題を克服する、低コストでの建設技術の確立が求められている。

一方、地球規模での環境問題への関心の高まり(京都議定書の発効)は、建設分野でも環境負荷低減への取り組みが求められている。

２．１．１　建設分野の課題

２．１．１．１　建設業の生産性の低さ

建設業の生産性は低下しており、図 2-1 の示す内容は、1990 年より 15 年間で 26%程度、金額にして約 1,000 円/人・時間の低下となっている。

一方、製造業はコンカレントエンジニアリングなど種々の生産性向上とアウトソーシングなどにより、見かけの人員削減を含め生産性が一貫して向上し 15 年で 62%上昇し 5,235 円/人・時間となった。

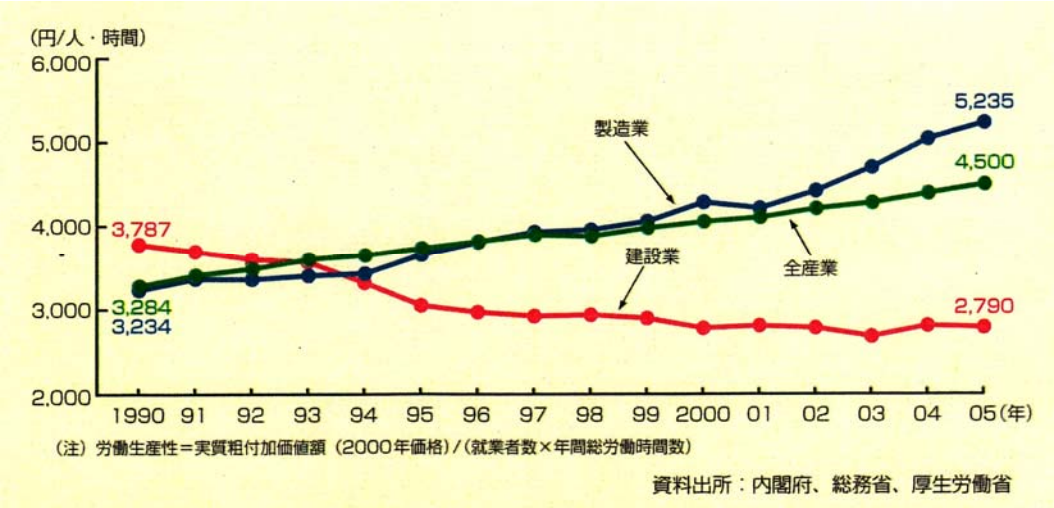


図 2-1　　建設業の労働生産性の推移(1990～2005 年)[8)]

2005 年度時点での建設業の生産性は、製造業と同等の比較とはならないが、その生産性を向上させることが社会的な要求であり、改善への取り組みが求められている。建設業の生産性の低さには多くの要因が挙げられているが、就業者数削減の遅れと単品生産など建設産業の特殊性と建設工事の発注制度に起因する施工の硬直化が課題である。

２．１．１．２　発注制度の課題

施工規定など発注制度の根底にあるものは、施工時の不確定要素への安全率の確保に起因するが、その確実な履行へ仕様による規定が公共工事の施工の硬直化を生んでいる。

発注された工事の生産性向上への課題として次の(1)～(3)の事象改善への取り組みが求められている。

(1)　発注時の積算または標準積算通りの施工が求められる。

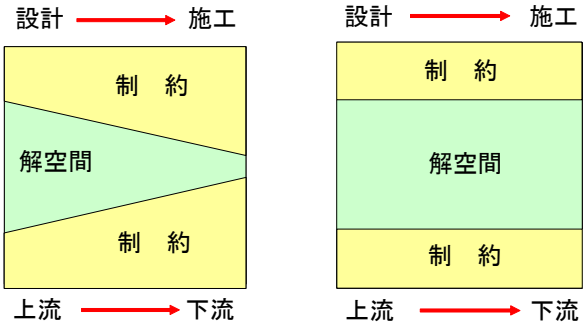
(2)　過剰品質であっても積算通りの施工が求められるため良好な施工条件での余分な不確定要素など無駄も発生する。

(3)　この発注制度が持つ硬直性を排除するには、施工段階での条件変化へ柔軟な対応が求められる。

総合評価制度など、入札制度の透明化と生産性向上を促すために多くの制度改革が導入されている。一つの取り組みとして、性能発注への試行も始められている。性能発注とは、発注時に完成目的物の図書で示されている従来の発注ではなく、必要機能の提示までとし応札者が合理的な設計と施工を検討計画し応札する制度である。発注者の押し付け設計でなく、VE などの施工者の工夫を引き出した発注となることより品質・コスト・工期など目的関数への成果と生産性の向上も期待されている。

企画調査など上流から施工など下流への施工段階での VE への取り組みの自由度について従来施工と性能発注の差異を図 2-2 に示す。

従来施工では仕様により規定されており、下流になるほど解空間への制約が大きくなっている（図 2-2-(a)）。一方、性能発注ではその解空間への制約が大きく変化せず、各段階での自由度がより高いことを示している（図 2-2-(b)）。



(a)　従来施工　　(b)　性能発注

図 2-2　性能発注と従来発注との制約の比較 [9)]

設計～施工段階での不確定要因への柔軟な取り組みにより、より最適な解を求めることにつながり生産性、品質の向上と環境負荷の低減などの実現が求められている。

施工段階での高度情報化施工が、施工情報を活用し緻密に施工することにより余分な不確定要素を排除し、コスト縮減と環境負荷を実現させるために、性能発注は企画設計段階

までの自由度を高めた最適化への取り組みと捉えることができ、今後の拡大発注が期待される。

２．１．１．３　建設投資の減少

公共投資は 1995 年の 35.2 兆円をピークとして 2007 年には半減し 17.2 兆円となっている(図 2-3)。建設投資全体は民間工事の増加もあり、公共工事の減少を補ってここ数年は横ばいとなっている。今後、高齢化により税収の増加が見込めない我が国においては建設投資の増額は見込めない。このため，限られた予算を有効に使いインフラ整備を行うためには，所定の品質のインフラをできるだけ安いコストで構築する技術の開発が求められている。

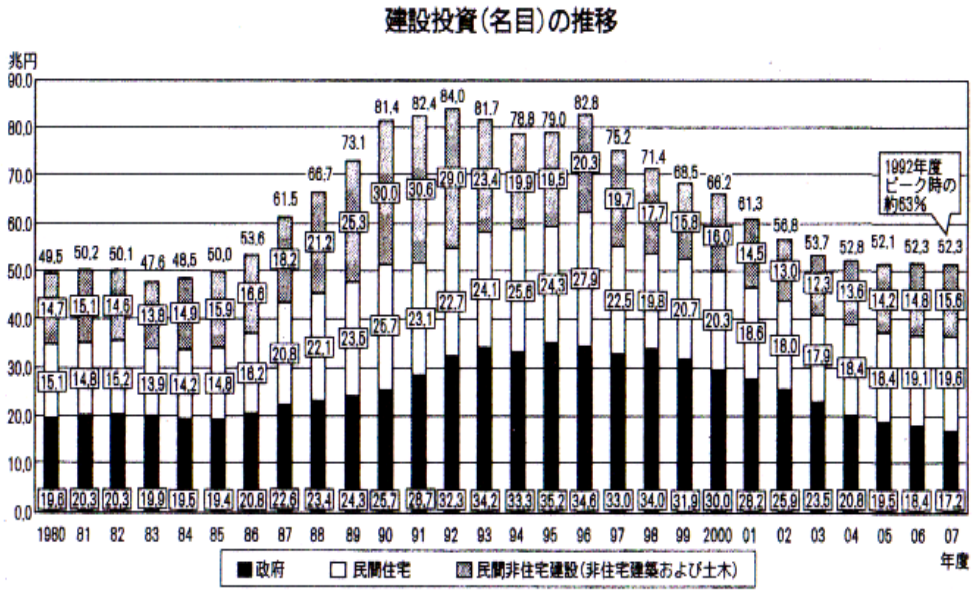
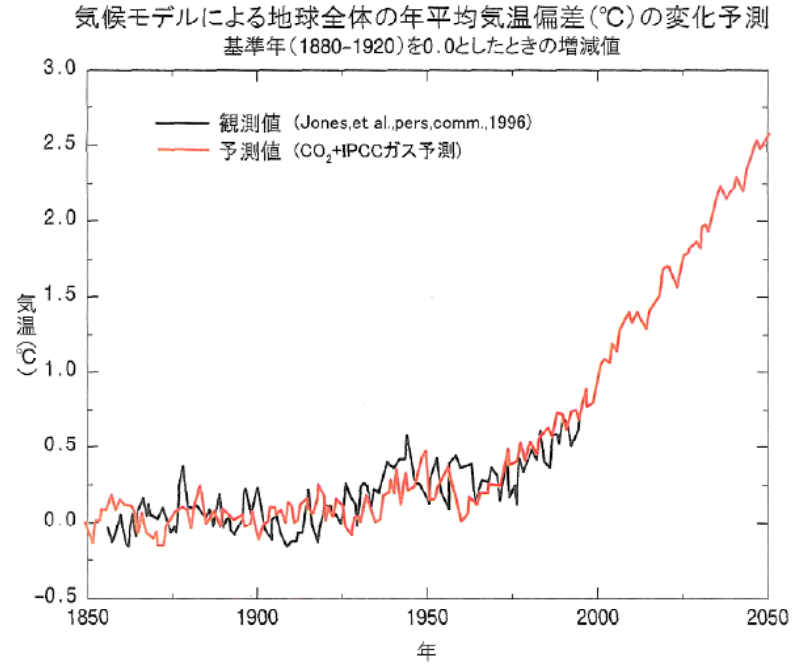


図 2-3　建設投資(名目)の推移 [10)]

２．１．２　現在の建設事情

２．１．２．１　地球規模での環境問題への関心の高まり

京都議定書の発行により、日本でも 1990 年のレベルから 6%削減という目標値が設定されたものの、CO_2 は減るどころか、年々増加している現状より建設分野も CO_2 の発生低減など環境負荷低減への取り組みが求められている。地球の温暖化予測については、図 2-4 に示すとおりであり、2000 年までの観測値はほぼ予測値と同様に上昇している。気候モデルでの地球全体の年平均気温偏差の変化は 2000 年以降急激な上昇を示している。



IPCC:気候変動に関する政府間パネル

図 2-4　気候モデルによる地球全体気温の変化予測

一方、建設分野の CO_2 の排出状況（図 2-5）は、1990 年度比較で 43.3%の減少しているが、工事量の減少要因を含んだ実績であり、その減少要因 35.5%を考慮すると実質は８％の減少にとどまる。大手建設業 3 団体(日本建設業団体連合会(日建連)、日本土木工業協会(土土協)、建築業協会(建築協))は CO_2 の排出量を 1990 年比 12%の減少を目標に掲げているため、目標の達成へはさらに４％の CO_2 の排出削減が必要である。建設分野も一般製造業と同様に環境負荷低減へ技術開発が求められている。

図 2-5　建設分野の CO_2 排出量の推移 [11)]

２．２　建設施工の課題

建設分野では、一品生産、自然条件変化の影響と多くの関係者の工事参画による複雑で有機的な工程など建設産業の特徴により、工程など適切な計画作成による工事運営がなされていない、そして施工情報の利用が十分でないなどの課題を有しているため、建設工事の効率的な運営に至っていないのが現状である。

２．２．１　適用工事の関空１期時点の課題

適用を検討した大規模土工事も一般の建設工事と同様に、施工情報利用に関わる問題点など解決の困難な課題をもっており、適用工事の施工に合致した施工計画が立案されていないことに加えて、施工情報の入手と利用に関わる課題があった。具体的には以下(1)(2)に示す。

（１）　現場運営に合致した計画による工事運営が行われていない。

従来の建設工事における計画は、主として、過去における類似工事の資料、運営実績や作業員の経験に基づいて立案されていたため、適用工事の運営状況に合致した工事運営ができていなかった。具体的には、計画に用いる資料は書類や写真などのアナログデータであるごとが多いため、所望する施工情報を迅速に得ることが難しく、当該資料を有効に活用し、適切な工事遂行への施工計画となっていなかった。以上は長期的な計画について記述したが、短期の計画においても同様な問題をもっている。具体的には、1 週間・1 日の工事の施工計画についても参画者の経験に基づき立案されるなど適切な計画が立案実施されておらず、土運船の配船の変更による採掘量の増量要請などの出荷変更に採掘計画の変更へ対応できず、土運船をキャンセルすることもあり、適切な採掘変更による出荷量の増量などへ工事運営上の課題があった。

（２）　各種の施工情報が必要な時期に入手できず、適切な採掘管理ができない。

時間的・空間的・人的な要素により情報の入手に手間取り、その情報に基づく意思決定までに多くの時間を要するため適切な採掘地の管理ができていなかった。

適用工事について工事施工の最前線を調べると①～⑧の原因が挙げられる。

①　施工現場が広域に及ぶため、情報収集より意思決定までに時間がかかる。

②　参画する人により求める情報が異なる。

意思決定そのものについては、工事施工に参画する立場により判断に必要な情報も異なることが判明している。

③　施工には、人・もの・仕組みが複雑かつ有機的に絡んでいる。

④　施工には、目的構造物の品質・コスト・工期・安全・労務管理・環境と満たすべき要求項目も多い。

⑤　多くの要求項目を満たすための要因も多種に及ぶため、工事運営には、多面的な取り組みが求められる。

⑥　施工環境は刻々と変化するため、タイムリーな判断をしないと結果に結びつく判断とならない。判断への情報はリアルタイムに入手する必要がある。

⑦　得られた情報より判断するには、情報を加工する必要もある。

⑧　多くの情報をリアルタイムに入手し、加工し、判断し、その結果を得る。つまり、リアルタイムに情報による計画見直しのＰＤＣＡ(Plan、Check、Do、Action)の輪を回す事は困難であった。

関空１期時点の適用現場の建設施工上の課題は、工事運営へ必要な情報が必要なタイミングで入手できないなどの情報入手の課題がある上に、既存のデータによるお仕着せの計画、経験に基づく計画など適切な対応の出来ない計画であるため、工事状況の変化に適切な判断による柔軟な対応など工事運営が状況変化に追随できていないことである。

（３）　施工情報利用に関わる課題の整理

建設施工における一般工事の課題と関空１期時点の適用現場での問題点を整理し、施工情報を活用することによる効率化などによる合理化施工へのねらいと仕組みについて本項にて示す。

①　施工情報利用の仕組み

施工には多くの要素が複雑に絡んでおり、施工では「人・もの・しくみ」が、工程の進捗に伴い、建設現場の各所に広がり建設目的物の部分が完成へ造り込まれていく。多くの人々は、企業者・工事の受注者・専門技術者など職種別、工事管理・工事実施など職種内の機能別に分担している。現実のサイト内で情報の実態を見ると、施工分担のしくみにより、施工の中での情報の伝達（発信・受信・確認・報告・判断）は職種内機能と職種間で双方向であり、確認、報告、判断などプロセス・結果の途上にて、複雑に、かつ交絡している。この情報のやり取りは、過去の施工段階の取り組みより現在に至るまで、情報伝達のツールの違いはあるにせよ、その伝達内容は大きく変わっていない。つまり、建設技術の具現化を担う施工には多くの人々が参画する人的要素・機械をはじめとする物的要素・施工方法などのシステム要素・現場、周辺などの環境要素などが複雑に絡み合っている。

②　施工情報の利用環境

施工 CALS を建設工事の実運営に組み込んでいくためには、真に関与する管理者・技術者が利用する仕組みの構築が不可欠である。これまでコンピュータ利用技術として導入が盛んであった情報化施工技術は利用目的が単一化され一部の技術者にだけ利用されることが多く、導入成果は確認できるものの、建設事業全体での汎用化までは到っていない。

③　施工情報利用に関わる課題の整理

関空１期時点での適用工事の問題点を調査し、情報の利用には、情報の入手に移動するなど時間がかかるなど「時間的な」要素、広い現場に情報が散在するなど「空間的な」要素と情報の入手に手間がかかるなど「人間的な」要素に情報活用を阻む要素が存在することより、情報の活用への整理すると課題は表 2-1 に示す内容となる。

表 2-1　施工情報利用における課題の整理 [12)]

時間的要素	空間的要素	人間的要素
時間がかかる情報収集 標準化による迅速化 手間取る情報確認 情報の陳腐化 意思疎通の悪さ	複雑なプロセス 大量なプロセス 散乱している情報 会社で異なる利用情報 業務によって 異なる生産情報 情報の埋没化 不統一な情報環境 使えない情報機器	手間がかかる情報収集 面倒な報告書作成 立場で異なる利用情報 判断が異なる情報理解 判断基準により異なる情報理解 膨大な紙情報

④　課題の整理より解決へ

そこで、施工 CALS の開発導入にあたっては、システムありきの導入ではなく、事業に関係する管理者・技術者が利用して効果が期待できることを設計思想として加える必要がある。その重要な点とは「施工情報」と「施工プロセス」であり、現場運営にとって施工情報の共有と双方向化により情報活用の実現とプロセスの簡素化であり、不要な情報とプロセスの排除の実現が施工 CALS への近道となる。施工プロセスの簡素化とは、プロセス間の連携強化(コラボレーション)やプロセスの統廃合(Concurrent)ということができる。その方法としては、製造業が BPR(ビジネスプロセスリエンジニアリング)手法を導入し、生産ラインの効率化を図って成功したことが参考になる。

２．３　一般製造業の取り組み

一般製造業では、市場の変化への対応するためコンカレントエンジニアリング [9)]を導入し、製造工程の簡素化と情報の共有と伝達の双方向化による「早期の製品化」、「品質の向上」、「コストの低減」の実現へ導入されている。コンカレントエンジニアリング(Concurrent Engineering 以下 CE と記する)とは、1988 年 7 月に始まった DARPA(Defence Advanced Research Project Agency)による DICE(DARPA's Initiative in Concurrent Engineering)が始まりであり、「製品、あるいはシステム開発に従事するすべてのグループが協議して作業にあたれるオープンな計算機環境を指し、CE が成功すれば早期の製品化、品質の向上、コストの低減が可能である。[9)]」と紹介している。一般製造業においては、「コンカレントエンジニアリング [9)]」を導入し、これまで(1980 年頃まで)の同一の規格大量生産から個人の多様な要求に応える時代への手段として活用されている。つまり、少品種多量生産より多品種少量生産に移行し、製品が著しく多様化してきた。これにより、従来の生産方式(図 2-6)の開発～設計・生産・使用の一方向の処理では効率的な生産ができなくなったことにある。

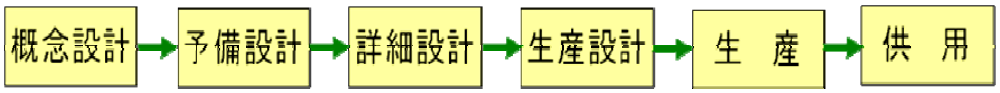
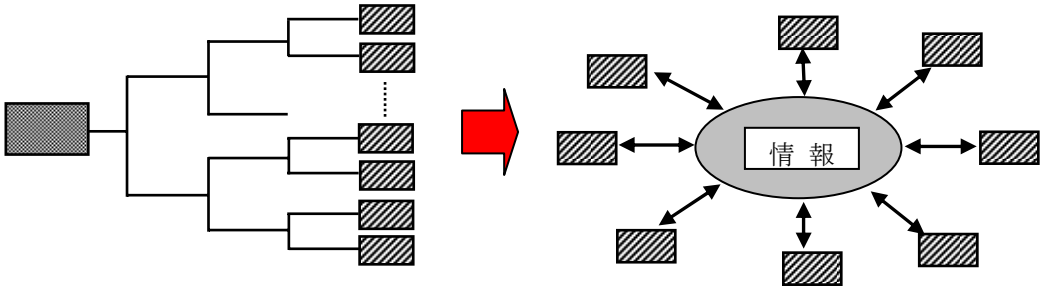


図 2-6　設計・生産・供用の一方向処理の例 [9)]

この消費者の柔軟な要求に応えるためにコンカレントエンジニアリングを導入し、一方向の処理より双方向の処理つまり前工程から自工程への処理のみではなく、後行程をも考慮した双方向の処理を実施することにより、フィードバックに加えてフィードホワードも行うことを可能とした。



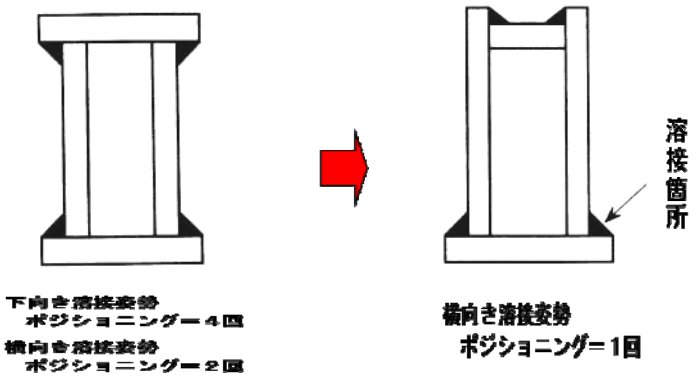
(a) 従来の施工における情報の流れ　　(b) 情報の共有と双方向化システム

図 2-7　コンカレントエンジニアリングの導入による情報への効果 [9)]

図 2-7(a)に示すのは、従来の施工における情報の流れである。情報が一方向的に伝達されるため、情報が他の工程に伝達されるのに時間を要する。

図 2-7(b)は、情報の受発信による双方向化と共有できるシステムを示している。情報は全ての工程で共有され，双方向で交換される。そのため、迅速かつ柔軟な施工への対応により施工の改善が可能となることを示している。

また、図 2-8 は設計構造を変更することにより溶接姿勢のポジショニングを大幅に低減できることを示す事例である。工事の施工過程においても同様のことが考えられる。特に、ルーチンワークでの CE 面よりの工数低減は、サイクルタイム・所要時間の低減につながり効果も大きいことが予想される。



(a)改善前の生産断面　　(b)改善後の断面

図 2-8 コンカレント事例（ポジショニング回数の低減 9)）

２．３．１　建設分野でのコンカレント事例

建設分野においても同様に CE の視点で建設施工を見ると、ハード部分で工程の簡素化事例として捉える事が出来るものもある。適用工事の CE 事例として、「採掘工」の発破～積込みの事例を紹介する。関空 2 期向けの施工改善に採用した「重機併用ベンチ発破工法」(図 2-9)である。

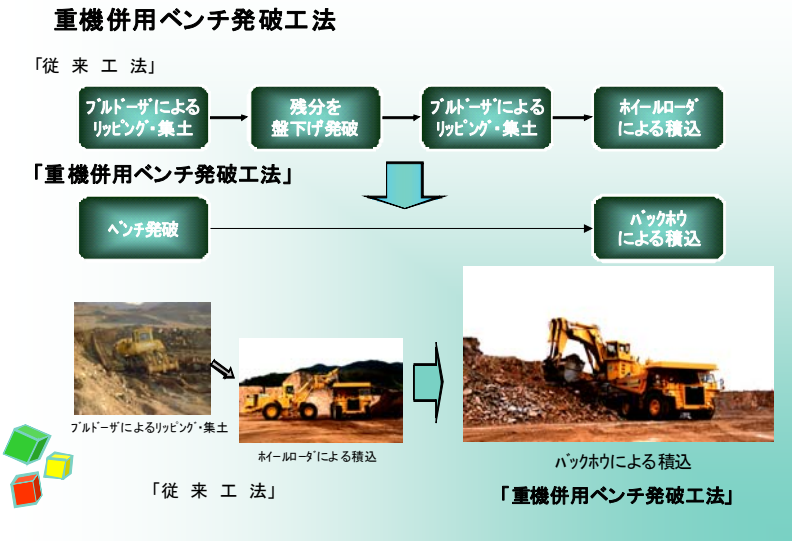


図 2-9　建設工事でのコンカレント事例（重機併用ベンチ発破工法）

従来工法の①ブルドーザワークによるリッピング・集土。②盤下げ発破工。③ブルドーザによる集土作業。④積込み作業の 4 工程作業であったものを、①ベンチ発破(小薬量によ

り、ベンチは自立)②バックホウによる自食いの積込みと 2 工程作業に工程を簡素化させた。
本 CE 事例は、繰り返し作業の中での工程簡素化の事例であり、積込み・運搬のサイクルタイムの低減への期待の高い CE 改善といえる。

２．４　建設情報化施工の現状

２．４．１　高度な情報活用による建設施工の効率化

1989 年島根県石見空港造成工事において、施工情報のデータベース化による階層管理手法と品質管理の改善により、作業工程の短縮とともに施工の品質を向上させることに成功し[1)]、1993 年東京電力葛野川ダム工事では、原石山の砕石工程を分析した上で、地山を 3 次元と捉えてデータ管理することによる効果(歩留まり率の向上、掘削量の低減)を示した[2)]。そして、1995 年電源開発(現在の J パワー)橘湾火力発電所造成工事(写真 2-1)においては出来形管理図面や帳票類について、現場と企業者間での情報共有を図り、施工管理に関わる事務所作業の大幅削減を実現してきた[4)]。

写真 2-1　橘湾火力発電所造成工事

写真 2-2 可搬型 GPS

写真 2-3 車載型 GPS

写真 2-4 GPS 深浅測量ｼｽﾃﾑ

本工事で開発した GPS 土量管理システムを示す。可搬型 GPS(作業員が GPS 機材を担いで測量する方式(写真 2-2)、車載型 GPS(写真 2-3)と船舶搭載型(写真 2-4)により、陸上から海底までの地形を３次元的に取得し、原地形データとの差分を演算することにより、土量の変化量を自動的に計測管理できるシステムである。

さらに、1997 年には、施工システムの体系化と汎用化を目的に施工情報を従来の 2 次元情報である図面情報に加えて、3 次元情報として取り扱われる地形データとの連携に努め、施工 CALS の中核になる施工情報管理プログラムを開発した [3)]。

また、1999 年から 2004 年にかけて、旧日本道路公団大規模盛土工事(写真 2-5(a))において、締固め重機の GPS による軌跡データを基本データにした、盛土施工の効率化と盛土品質の高度化を可能とするシステムを開発運用し、施工時に取得できた情報を効率的に利用していくことの効用（写真 2-6～写真 2-11）を示した [5)]。

(a) 新名神高速道路　大規模土工事現場

(b) 関西国際空港 2 期空港島建設工事

写真 2-5　情報利用を模索する工事の例

加えて、2000 年関西国際空港 2 期直投工事(写真 2-5(b))では、投入土砂の堆積シミレーション効果や海底地形計測結果に基づく土運船の配船計画など、一連の施工計画・管理をすべてコンピュータ上で実施するという従来の施工方法の改善への試みを成功させている。

これらの取り組みは IT ツールを利用し、施工情報を一元化し、リアルタイムに入手し、施工情報を活用することへ息の長い取組みが続いているがその成果が一部に留まっている。

写真 2-6 システム搭載の振動ローラ

写真 2-7 施工状況確認用ディスプレイ

写真 2-8 固定局

写真 2-9 地盤反力計測センサ

写真 2-10 管理局

写真 2-11 実施工での運用状況

具体的には、データの管理、管理書類の作成など事務量の削減と土量管理など施工管理など結果の管理業務への利用であり、施工プロセスでの利用は GPS を利用した盛土管理の例にとどまることであるが、この長期の取り組みは工事の情報活用による施工の効率化への要求が高くその得られる成果への期待が高いことと長期にわたる取り組みは施工の情報化による効率化、生産性向上などへ模索状況にあることを示している。

２．４．２　施工プロセスでの最適化

建設工事の施工段階では複雑で多くの要因が絡んでおり、その変化に対応した情報の収集と必要な情報へ加工し、リアルタイムに提供し、それに基づく判断の実施と判断結果による対策結果のリアルタイム提供は不可能であった。災害時の復旧など現実は、目前の状況を即座に判断し、応急対策などを待ったなしで対応することになる。これが建設施工のダイナミズであり技術者としての能力を問われることになる。施工段階でのマネジメントの事例が少ない理由でもある。このような複雑で多くの要素を含む施工段階のマネジメントへの適切な判断と柔軟な対策による効率化の実現は、社会資本の効率的な投下による合理的な施工へ繋がり、社会的要求であるコストの縮減と環境負荷の低減、品質向上とコスト低減など二律背反する課題の両立についても解決への方向を示している。建設工事の特徴は、「一品製品の製造」「現地での製造」「地域、気候の影響下での製造」に加えて、多種多様な施工情報が各所に散在し、その工程に多くの技術者が参画しており、工事情報はそれぞれの位置で収集されていたが、時間、空間と人的な要因により活用までは到っていなかった(表 2-1)。大規模な工事で建設に伴う環境負荷の低減とコストの縮減など相反する目的関数を両立させての達成には取り組める仕組みと道具はなく、より進んだ施工支援システムの開発が求められている。

２．４．３　汎用機器の利用による情報を活用した施工の拡大

最近の IT 機器の進化はめざましく、IT 機器の活用による技術開発、管理の効率化技術など広範囲の合理化への取り組みが多くなっている。そのため、IT 機器の利用についても、従来のそれぞれの工事へオーダーメイドの機材の開発利用から、汎用 IT 機器類の利用が可

能となりつつあり、大規模工事にとどまっている情報化施工が中規模工事へ拡大できる環境が整いつつある。汎用度に加えて、使い勝手の向上と低価格化が進んでおり、より小規模な工事への利用の可能性の拡大を示している。

２．５　高度情報化施工と施工支援システム

２．５．１　高度情報化施工の導入

『高度情報化施工』が目指すのは、精密施工[6)]の枠組みを生かしつつ、効率化と工程の簡素化など施工の合理化を通じてコスト縮減と環境負荷の低減を図ることである。「精密施工」は「現場の調査・計測を通じて、地盤特性の空間的な分布や施工条件に関する詳細な情報を把握し、その情報により、施工方法・工程計画の策定および運営管理など工事に関するプロセス全体最適化を図る技術」と定義されているが、『高度情報化施工』は工事運営の実践の施工プロセスにて最適化までを求めず、効率化と工程の簡素化などを通じて施工の合理化により所定の成果を得ることを目的とするマネジメント技術である。『高度情報化施工』は従来、慣例・慣習により建設施工を捉えていたが、施工目的に対しより緻密に施工要素を捕らえ、施工情報をより有効に利用し、施工の合理化により所定の効果を得ること目指すものあり、建設マネジメント技術のひとつである。合理化の評価関数としては目的に応じて選択することができ，経済性を採用すれば最小コストによる施工の合理化に，また入力エネルギーを評価関数として近年注目されているライフサイクルアセスメントとリンクさせれば，環境負荷軽減の最適化問題とすることができ、その目的関数の選定は自由であり、複数の目的関数の選定もできるマネジメント技術である。ここで、高度情報化施工がひな形として学んだ『精密施工』の枠組みとその成立について記述すると、精密施工は「精密農法」(図 2-10)に習い建設施工に適用させたものであり、農業の分野では以前より精密農法（Precision Farming）と呼ばれる手法が注目を集めている。

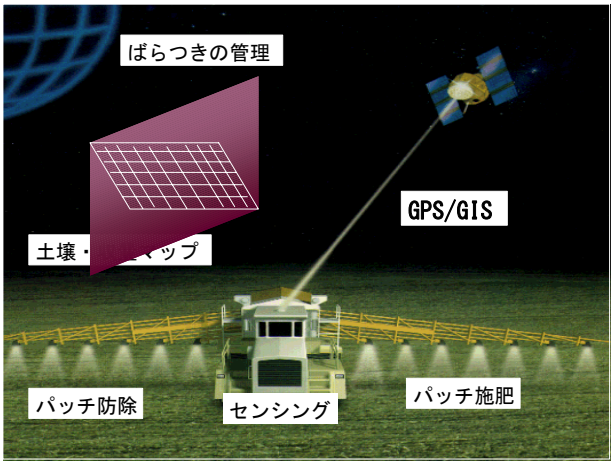


図 2-10　　精密農法の概念[13)]

精密農法とは，農作物の耕作対象エリア内の土壌特性（栄養塩類，水分，土質等）や作物生育・収量及び病害虫などを詳細に検知し，その分布状況に応じて肥料や農薬などの空間的な散布量をピンポイントで厳密に制御することにより，必要最小限の入力で所定の収穫を得ようとする手法である [14]。この手法を用いると，環境に対する負荷を最小限に押さえることができ，２１世紀の新しい農業として期待されている。

高度情報化施工は『建設、特に土木工事では、天候、地質、材料のバラツキを始め、計画や設計段階で確定的な設定を行うことができない要因が多いため、計画・設計段階では、比較的悪い条件でも施工が行えるだけの若干の余裕を持った計画を立て、また安全率を見込んだ設計を行う場合が多い。現場の条件が劣悪である場合、これらの施工計画や設計の余裕は活かされることになるが、現場の条件が良好である場合には、これらの余裕の多くは過剰な投資になる。』ともいえ、この基本フレームを生かしながら、高度情報化施工は合理化による所定の成果を得る実用モデルとして構築できることを示す。

２．５．２　高度情報化施工支援システムとして開発した施工 CALS

高度情報化施工をベースに開発した革新的な施工システムである施工 CALS[7]は、従来の紙による情報伝達を基本とする施工プロセスを改革して、文書交換ばかりでなく施工に関わるすべての電子情報(計測データ等)を最大限に活用できる新しい情報活用技術であり、複雑で汎用性に乏しい 3 次元 CAD と空間や時間の取り扱いを受ける 2 次元 GIS の運用上の課題を克服し、両者の利点を活かし、3 次元 GIS を中核として開発したものである。

２．５．２．１　施工情報活用への取り組み

多くの工事における施工情報を活用と適用工事の課題解決への検討より、(1)～(5)の施工情報活用への取り組みを示した。

(1)　施工情報のデータベース化による階層管理手法と品質管理の改善により、作業工程の短縮とともに施工の品質を向上。

(2)　地山を 3 次元と捉えてデータ管理することによる歩留まり率の向上、掘削量の低減の効果。

(3) 出来形管理図面や帳票類について、現場と企業者間での情報共有を図り、施工管理に関わる事務所作業の大幅削減を実現。

(4)　施工時に取得できた情報を効率的に利用していくことの効用。

(5)　一連の施工計画・管理をすべてコンピュータ上で実施するという従来の施工方法の考え方を一新する改革の試み。

(1)~(5)の取り組みにより、施工システムの体系化と汎用化を目的に施工情報を従来の 2 次元情報である図面情報に加えて、3 次元情報として取り扱われる地形データとの連携に努め、施工 CALS の中核になる施工情報を活用し管理の実践による施工の合理化への取り組みプログラム開発を目指した。

２．５．２．２　施工 CALS 開発のコンセプト

施工情報を活用し、管理する技術者が適切な判断による柔軟な対応により施工の合理化を実現させる支援システムとして(1)～(4)を実現させる施工 CALS の開発を図ることにした。

(1)　施工情報を一括管理による、情報の一元化を図る。

(2)　情報共有のリアルタイム化を図る。

(3)　情報の共有し活用により協働(コラボレーション)を図る。

(4)　施工プロセスの簡素化(コンカレント)の実現を図る。

(1)～(4)の実現により、『情報の伝わる時間が短くなる』『情報の量が多くなる』『情報の品質が良くなる』等の大幅な現場の情報利用環境の変革が成立する。その大きな特徴は、従来の施工サイトや組織や人に散乱していた施工情報を、施工に要する時間とほぼ同時(リアルタイム)に、すべての判断する階層(所長、職員、作業者等)に共有した施工情報として提供できることにある。情報活用への阻害要因(表 2-1)を除外し、施工情報を基に固有技術を有する技術者が柔軟に判断し施工段階での最適化により所定の成果を得ることを可能とする。具体的には、詳細できめ細かい情報の収集と活用については、以下の①～④となる。

①　情報収集上の課題の解決

施工情報の利用へ「空間」「時間」「人」この 3 要素の視点より課題を整理し、課題解決により情報の活用を図る。

②　詳細できめ細かい情報の収集

効率的，リアルタイムなど情報収集における無駄の削減が求められる。そして、収集された情報を利用できる形に加工し、迅速・的確に、タイムリーに提供する。

③　リアルタイムでの情報収集と提供

多くの要素を満たす為に、「人・もの・しくみ」を機能させ、工事施工全体を合理化させ、成果を産出することが求められている。必要とするタイミングで必要な情報に(加工して)必要な場所に提供する。人的には、多くの工事に参画する人々を、成果の算出へ向けて協働をさせることが求められる。仕組みとして、「必な情報」を「必要な時」に「必要な場所」に与える仕組みが、その基盤として必要となる（情報の共有と双方向化(図 2-11)）。

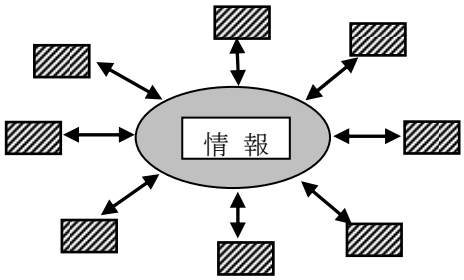


図 2-11　双方向での情報伝達を示す図 [9)]

そして、仕組みを支える「ツール」と、情報を主眼点とした工事の基盤整備が重要な要

素である。

④　固有技術を持った技術者がリアルタイムに判断する。

判断プロセスの単純化と明確化（柔軟、タイムリー、的確、根拠の明確）を行い、情報を収集し、収集情報を活用し、意思決定をリアルタイムに行ない、判断結果もリアルタイムに提供することにより、より高度な合理化を図り、判断結果を将来の検証にも利用する。

具体的には、適用工事にて図 2-11 に示す情報の共有と双方向化を実現するシステムを構築し、リアルタイムに情報は工程間で共有され，双方向により柔軟かつ迅速な意思決定による工事運用を実現させること。その結果、施工段階でのダイナミックな変化に対し、迅速・柔軟な対応による全体合理化と判断結果の検証による効果も共有が図れる。

２．５．２．３　先進的なシステム

多くの工事で施工の効率化や工期短縮には新工法の開発や施工機械の改良が多く提案され工事の最適化と合理化に取り組まれてきた。本研究では、従来の課題への取り組みとは異なり、一元化した施工情報をリアルタイムに施工管理に必要な情報に加工し、参画する施工管理技術者に提供し、その持てる固有技術による意思決定により施工を合理化が可能であることを示すものである。従って、情報の活用により施工段階で適切な判断と柔軟な対応により施工の合理化を実現する、汎用度の高く先進的なシステムと言える。

２．６　本研究の目指すところ

２．６．１　建設施工のコスト縮減と環境負荷低減

高度情報化施工の導入と支援システムである施工 CALS を大規模土工事に適用し、効率化、工程の簡素化などの合理化によりコスト縮減と環境負荷の低減が成果として得られることを示すことである。一般製造業では環境負荷の低減へは設備投資を伴うことよりコスト縮減とはならずコストオンになり相反する課題と位置付けられている。本研究の着眼点である「工程上の余分な不確定要素」が建設業の特殊性なのか製造業に存在するかについては興味を持つが別の研究にゆだねることにする。

本研究は「高度情報化施工」と「施工 CALS」を適用工事で運用し、相反する課題の一つであるコスト低減と環境負荷の低減を両立実現のアプローチの手段として有効であることを示す。

２．６．２　ライフサイクルでの最適化

コスト最適化への取り組みは、発注段階でのコスト低減、施工段階でのコスト低減など部分段階の取り組みから構造物のライフサイクル(企画～調査～設計～施工～維持・利用～更新(リニューアル～廃棄))でのトータルコストの最適化への取り組みの可能性が求められている。

本研究が調査・設計から施工計画・施工の段階の取り組みであるが、施工情報を供用段階以降に発展拡大することによりライフサイクル全体での適用も視野にいれることができる。ライフサイクルでの合理化、最適化への取り組みへの発展が可能であることを示しており(図 2-12)、今後の取り組みと成果が期待される。

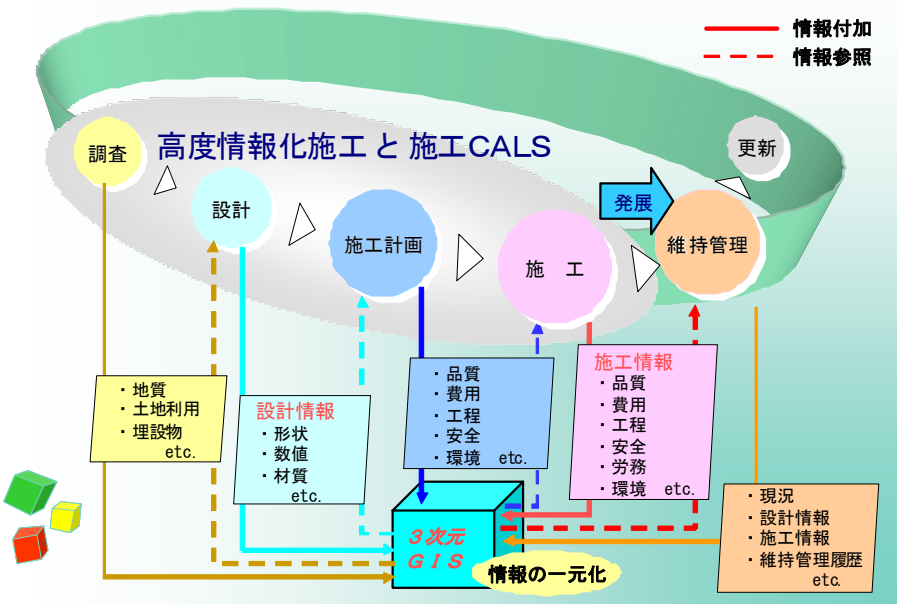


図 2-12　施工段階の高度情報化施工と施工 CALS の適用による LCA への発展

２．７　本研究の目的

本研究の目的は、大規模土工事へ高度情報化施工の導入し、支援システムである施工 CALS の開発と施工 CALS による高度情報化施工を適用し、時々刻々と変化する施工情報を活用による技術者の適切な判断と柔軟な対応により、多くの工事目標の達成が可能であること、相反する課題であるコスト縮減と環境負荷低減などを両立しての実現も可能であることを示すことである。

施工 CALS による高度情報化施工は、従来の建設工程を大幅に見直す、いわゆる「リエンジニアリング(再構築)」を実現させる施工技術である。支援システムである施工 CALS に３次元 GIS を導入し情報の一元管理とリアルタイム分析手法を実用化し，生産性の向上によるコスト縮減や環境負荷の低減といった成果をもたらすことが期待され、本技術を適用工事に導入し、多数の工種を簡素化し(コンカレント)、かつ情報の共有と双方向化により工種間の協働(コラボレーション)を実現することより、工事の効率化、生産性の向上による出荷量の増大と安定化のなど合理化により関空２期造成工事の要求に応えるべく取り組むことにした。

一方、本技術は調査設計段階からの情報はもとより施工段階の情報を蓄積することによ

り、構築物などの維持管理費用の効率化など構築物のライフサイクルでのコスト、環境負荷をはじめ選定した目的関数(品質、工程、安全など)の合理化を可能とする技術である。

本研究では、支援システムとしての施工 CALS が建設 CALS/EC アクションプログラム[7]で示されている「工事関係情報の電子的交換・共有」に対応したものであり、施工段階で取得できる情報(以降、施工情報)に付加価値を与えると同時に新しい施工プロセスを具体化するための中心的技術として位置づけられるものであり、その具体的なシステムの提案とその運用が施工段階での建設マネジメントの運用に有効であり、コスト縮減と環境負荷低減など二律背反する課題の解決も可能であることを示す。

第３章　大規模土工事へ施工 CALS の適用

３．１　適用工事の概要

施工 CALS を適用し運営した大規模土工事は、関西国際空港より約 30km 離れた淡路島南東部の淡路市(施工当時は津名郡)津名町北部に位置し(図 3-1)、海岸線より数キロ内陸部の大阪湾を眺望できる丘陵を土地利用（図 3-2 職住近接・環境創造自立都市計画）のため採掘し、造成するものである。

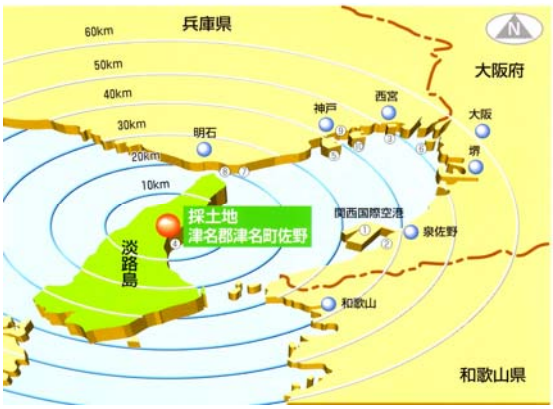


図 3-1　工事個所位置図

写真 3-1　関空 2 期空港島造成工事

適用した工事の施工場所は、瀬戸内海国立公園に近接しており、造成の形状など景観を含めた環境への配慮も求められた。

造成工事に伴って採掘された土石は、埋立て、空港滑走路の路床路盤と良質な裏込め材などに利用され、特に埋立て用材料は、関空１期・関空２期(写真 3-1)・大阪市・神戸市・淡路市をはじめ大阪湾一帯の臨海部の土地造成工事へ供給されその造成工事を担った。

稼働開始は、1988 年(昭和 63 年)の関空１期造成工事への埋め立て材の供給からであり、関空２期への採掘終了(2005 年)まで 18 年間に渡り稼働し、採掘設備の設置から撤去、そして会社清算まで 24 年を要した約 1/4 世紀にわたる長期かつ大規模なプロジェクトである。

採掘地は、標高 170～300m の山地に位置し、面積は約 148ha と広大で、地質は花崗岩帯であり風化度合いにバラツキが大きく未風化の硬岩から土砂まで変化に富んだ分布となっている。地山を発破し大型重機により積込み・運搬された岩・土砂は、破砕機を通し 200mm 以下に破砕し、ストックヤードに貯鉱し、総延長 2.2km のベルトコンベアで船積み桟橋まで運搬され、桟橋に接岸された土運船に埋立て材料として積込み出荷している(図 3-3、写真 3-2)。

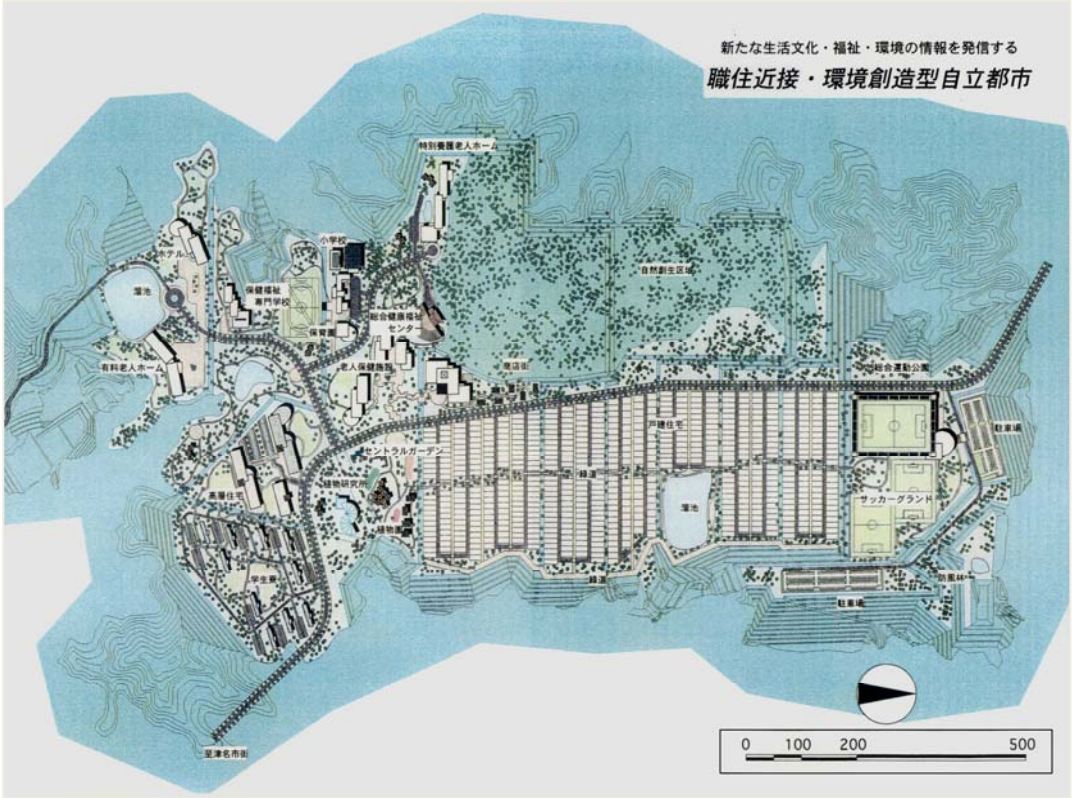


図 3-2　津名造成地土地利用計画（職住近接・環境創造自立都市計画）

図 3-3　津名採土地の作業フロー[14)]

写真 3-2　採掘地全景と設備配置

３．２　適用工事の課題と目標

３．２．１　適用工事の課題

適用工事の課題は、発注者、周辺自治体などからの要求と採掘地の地質、盛り立て材料の生産設備と採掘地の広さなどの制約より構成される。

関空２期工事の発注者である関空用地造成会社と施工管理社の関西国際空港よりの要求は、関西空港２期造成工事の初期に、供給する採掘地が我々の津名、洲本(ともに兵庫県淡路島に位置する)と遠隔小規模の採掘である相生・玉野等の採掘地で供給する計画となった。そのため、採掘地として可能最大限の供給と関空２期工事の稼動を維持するために安定しての土砂供給が求められた。

兵庫県など地域自治体と漁業従事者など周辺地域より、海岸線に近接して造成・採掘を実施するため景観上の制約を受け、海上・周辺道路より法面が見えない造成形状での検討を実施した。周辺よりの環境面の要求では、農業・花卉栽培・漁業など多くの産業活動が展開されており、粉塵・騒音・振動などの環境負荷の低減が条件とされた。

一方、採掘地の地質など地山の岩質は風化花崗岩を主体としており、土砂から弾性波速度 4,000m／秒以上の硬岩に至るまで複雑で多様な分布をしている。そのため、破砕設備（最大破砕能力 2,520t／時）に負荷を掛けすぎないよう、土砂・軟岩・硬岩をバランス良く採取していかなければならない。これら稼動重機と設備類は、作業連携上ほぼ直列に配置さ

れており、どの一つが故障しても、最終の土運船船積みに支障をきたす仕組みとなっている。工事箇所が広大であり、その工事工程も採掘地から船積み桟橋まで 4km 以上にわたり従事するうえに、管理事務所もその範囲外に位置するため、技術者が維持管理・運営に対し、採掘地・設備類を含めた採土地全体で重機稼動(発破、集土、積込、ダンプ運搬、走路管理、破砕設備投入)、破砕状況、貯鉱量、ベルトコンベアの稼動、船積、船舶稼動といった多種多様な情報、状況の把握するために広範囲を移動していた。

３．２．２　適用工事の目標

３．２．２．１　目標出荷量(年間, 月間, 一日出荷量)

その供給を支えるため、我々は設備の最大限の稼働と関空１期の実績等を検討し、出荷量の目標を検討した。

(1) 関空１期最盛期の稼働

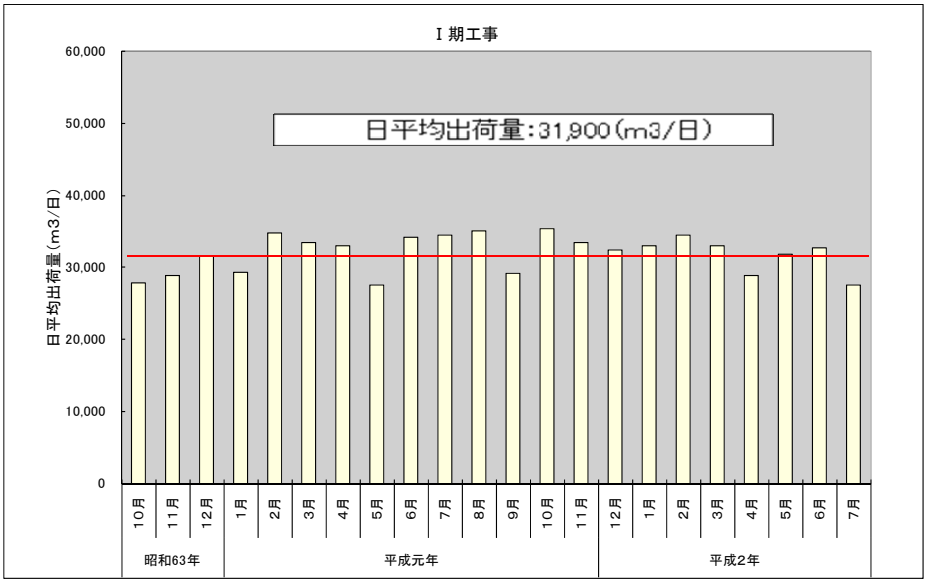


図 3-4　関空１期(1988 年 10 月～1990 年 7 月)最盛期の出荷実績

適用現場が関空１期向けに本格稼働したのは、1988 年 10 月から 1990 年 7 月の 23 カ月間でありその内容(図 3-4)を照査すると年間最大出荷量は 801.7 万 m³/年間(1989 年１月～1989 年 12 月)、月間出荷量は 81.3 万 m³/月(1989 年 10 月)、日平均出荷量は 3.49 m³/日(1989 年 8 月)であり、その 23 カ月の日平均出荷量は 31,900 m³/日であった。

(2)　生産設備と設備能力

設備配置は、図 3-5 のように直列配置となっておりその積込み出荷量を握っているクリ

ティカルは生産ライン最下流に位置する船積みのベルトコンベアが握り、1 時間当たり 6,800t、容積換算すると時間当たり約 3,900m³の出荷能力となる。また、破砕するジョークラッシャーは 3 基設置しており、その破砕能力が 1 基あたり 840t/時間であるため全体破砕能力は 2,520 t／時間となり、出荷量 6,800t/時間の 37%と約 1/3 の破砕能力を備えていることである。破砕能力 2,520 t／時間の範囲内で採掘出荷量 6,800t/時間を維持しつつ稼働させることが求められている。

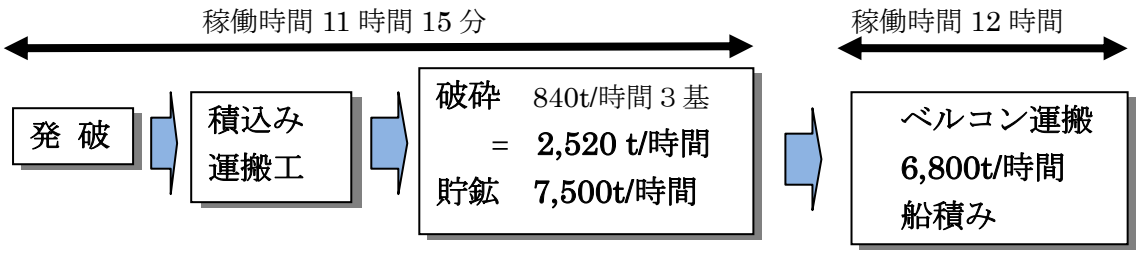


図 3-5　生産系統の制約条件と設備能力図

(3)稼働時間

稼働時間は図 3-5 にも示しているが、朝 7 時から 19 時までであり、そのうち採掘地から破砕、貯鉱までが 11 時間 15 分、船積み側が 12 時間である。

(4) 設備最大出荷量

設備能力が船積み側のベルトコンベアで決まっており、その最大運搬能力 6,800t/時間より稼働時間 12 時間を乗ずると 1 日最大出荷量は 1 日 6,800t＊12 時間=81,600t/日、m³換算すると 46,000m³／日となる。月間最大出荷量は、平均稼働日数 25 日を考慮すると 115 万 m³/月、年間最大出荷量は平均稼働日数 250 日/年を考慮すると 1,150 万 m³/年間となる。

(5)目標の設定

関空２期への出荷目標は、設備の最大能力での稼働による出荷を目標にし、稼働率も８５％と高めの設定として、平均出荷量で 40,000 m³/日、月次で 100 万 m³/月、年間で 1,000 万 m³/年間を目標(図 3-6)とした。

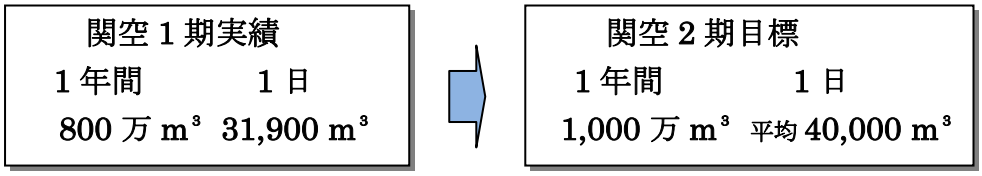


図 3-6　関空１期実績と関空２期の出荷目標

この目標は、いずれの目標も１期の実績を 25%上回るもので採掘～破砕～貯鉱～船積みに到る全工程の連携と工程のクリティカルである破砕量と船積みベルトコンベアのロスの低減がポイントとなる。

３．２．２．２　環境負荷の低減

環境負荷の低減の低減については以下の(1)から(3)の課題と目標について取り組むことにした。

(1) 発破振動と低周波振動の低減

発破振動については、55db 以下と兵庫県の指導基準を下回る自主基準を設定し、低周波についても 90db の自主基準とし、発破時の管理目標は自主管理基準値以内の発破実施率を 95%以内として管理した。

(2)燃料消費率

燃料消費については、ダンプトラックの走行シミュレーション(表 3-9)より走路改善で５%程度の改善が予測されたが、硬岩の分布など不確定な部分もありたの目標と同様関空１期よりの低減を目標とした。

(3) CO_2の排出量削減

高度情報化施工を導入し、均等な負荷による緻密な工事運営による向上をし、関空１期に比較して向上させることを目標とした。

３．２．２．３　施工の効率化、工程の簡素化など合理化よる適用工事の目標

施工の効率化、工程の簡素化など適用工事の課題について目標の達成に取り組んだ。

(1)サイクルタイム

サイクルタイムは採掘量の最重要要素であり、ダンプ運搬のサイクルタイムがクリティカルとなる。３．４．１.b の時間当たり採土工生産目標の図 3-26 のダンプトラック運搬サイクルタイムの目標に記述したが、サイクルタイムの目標は５００秒、８分２０秒である。

(2)コスト低減

コスト低減は採掘コストを低減させることを目標に取り組むことにし、その低減額は関空１期の採掘コストを下回ることを目標とした。

３．３　適用工事の施工計画

施工 CALS を開発適用した大規模土工事による関空２期造成工事向けの採土工～破砕・貯鉱～ベルトコンベア運搬～船積みの一連の作業の施工計画と設備の改造改修計画について示す。

３．３．１　施工計画の検討

建設工事では与条件を満たしつつ所要の建造物などを提供する事を目的として施工計画

を立案し、建設事業の管理(施工管理)することになる。高度情報化施工と施工 CALS を適用した工事現場は 1988 年より稼働しており、関空２期着手時点で 12 年目を迎へ設備の老朽化などの課題を抱えており、関空１期を大きく上回る出荷に対し、発破・採掘・運搬・破砕・貯鉱・積込みのすべての能力、信頼性などを検討し、関空２期への要求に応えるべくそれぞれの施工について計画を作成した。

(1)生産計画の検討

関空２期への盛り立て材料の供給は、工事当初より最大限の出荷を求められ、その供給への生産計画を検討した。設備など生産ラインの制約条件などを検討し、可能な限り最大量の生産へ生産計画の最適化への検討を実施した。

①　現状設備と生産ラインの制約条件と設備能力

現状設備と生産ラインの制約条件については図 3-7 の通りである。

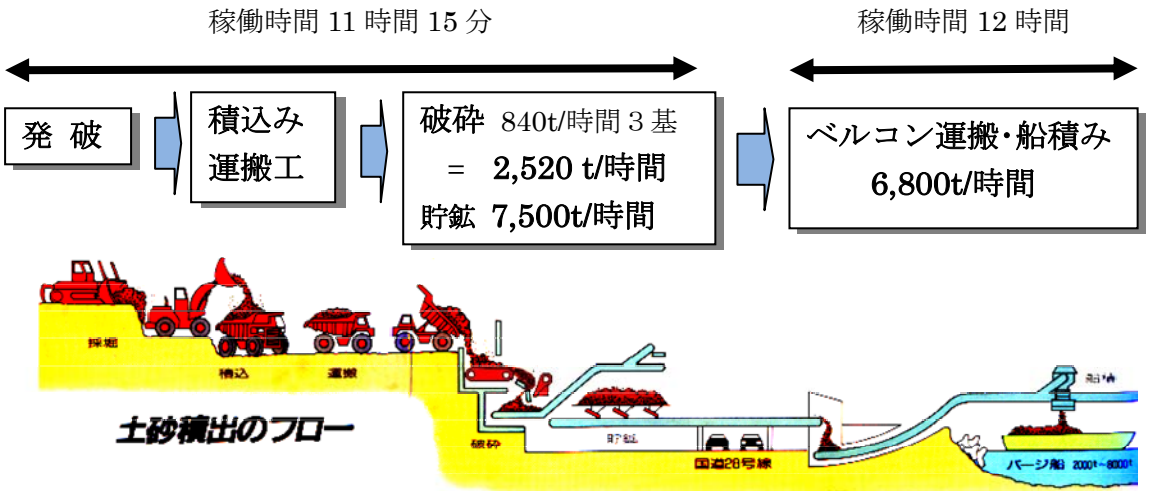


図 3-7　生産ラインの能力と稼働時間

②　ベルトコンベア積込み能力の検討

ベルトコンベアの運搬能力を増大へ以下の検討を実施した。

ｉ）　設備の老朽化と設備稼働の現状を調査する。

ii）　生産運搬ラインを増設し、2 系統での生産をする

iii）　生産設備を改造し、ベルトコンベアの幅を拡大する。

iv）　生産設備を改造し、ベルトコンベアの運搬速度を増大させる。

以上 4 案への制約条件はベルトコンベアを設置する用地と関空 2 期当初より最大限の出荷をするという 2 点があり、時間的な制約が厳しく根本的な改修は見送り改造と補修による信頼度の復旧と稼働ロスの排除などによる能力の増大を基本方針とした。

ｉ)案の老朽化調査と稼働のロスへの検討では、老朽化へ信頼度向上対策について、設備の桟橋部の鋼管杭、先端防衝工など多くの課題が指摘され改修を実施することにした。詳し

くは、第 3 章 3.3.4 採土運搬設備の補修・改造に記述する。採掘重機は、大型化を基本とした最新機に更新することにした。詳しくは、第 3 章 3.2.2 採掘数量と重機の選定に記述する。

設備稼働の現状を調査し、設備稼働のロスなどを調査した。その結果、船積み設備であるシップローダーに積込みの中断があること、積込み船舶の離着桟時時間短縮への補助タグボートの必要などが指摘された。

積込み中断については、シップローダーのダンパー切換えを無負荷で切り替える構造としているために、空転時間が必要であり、積込みの効率化に努力しても 1 隻あたり 3 分程度の空転が発生し、最盛期の就航船舶数 17～20 隻を想定すると 51 から 60 分のロス時間となり、出荷量に換算すると 1 日当たり 3,800m³、月当たり 9.5 万 m³、年間 95 万 m³となり、年間目標 1,000 万 m³を実現するにはシップローダーの改造は不可欠であった。

ⅱ)の生産運搬ラインを増設し 2 系統での生産とⅲ)の生産設備を改造し、ベルトコンベアの幅を拡大の 2 案については、通過する用地の解決に多くの時間などが必要なため検討より除外した。改造検討の焦点は、ベルトコンベアの速度であった。具体的には現状設備の駆動と減速機を改造増強して、現状の 250m/分を当時の最大速度の 300m/分まで速度を上げることであった。　改造は可能であるが、各ベルコンの乗継ぎ部分の改造が最大の課題であり、特に No.5 と No.6 の乗継ぎは高低差 13m の高落差があることより、その落下の緩衝と落下を減速するために壁と No.6 ベルコンにインパクトドラムが設置されており、その改造と調整が必要となる。ベルコン設備全体を速度向上させ、最大限の高速稼働を安定させるには、長期の習熟期間が必要となり時間とともに調整改造費用も必要となる。出荷当初より最大限の稼働を求められている関空 2 期への時間が差し迫っていることより速度向上を見送った。

③　破砕能力の増大化への代替え案と検討

6,800t/時間で 12 時間船積みを実施するためには、採掘、破砕と貯鉱の稼働時間が 11 時間 15 分であることより 7,300t/時間の生産が必要となる。関空 2 期の 3,500 万 m³の出荷では採掘地の芯部分までを採掘するために硬岩比率の増大が予想されることから破砕能力が出荷量を左右する要素となるため能力の増大を検討した。増大への代替え案としては、

ⅰ)破砕ラインの増設をすることであり、具体的には現状 3 ラインの破砕ラインを No.00～No.0～No.1 までを増設し破砕能力を増大させる。

ⅱ)採掘地にスクリーンと破砕機を設置し、ダンプ運搬途上で 1 次破砕し、その後に破砕ラインに流すという、現状の 3 ラインの付加軽減を目的とした計画である。

ⅰ)については、設置スペースがなく設置不能な上に、費用が 3.5 億円程度と過大であり実現不可能であった。ⅱ)については、スクリーンを自然落下方式とするために設置面積が広くなることと設置場所を固定できず、長期間の稼働には移設が伴う上に、移動を考慮すると破砕機の駆動がエンジンであるために設備能力が小さいという問題があった。

④ 生産能力の最大化へ生産設備の結論

以下のⅰ)からⅲ)により、設備の改造、改修、増強を計画し実施した。

ⅰ)10 年間稼働した設備を 3500 万 m^3、5 年間フル稼働させるには、多くの改造と改修が必要である。
ⅱ)シップローダーの連続積込みへ負荷時のダンパー切替えが可能へ改造し、運搬・船積み設備のベルト幅、速度など生産運搬能力増大と破砕能力増大は実施しない。
ⅲ)破砕能力の限度へ硬岩と岩塊の投入比率をコントロールできないと出荷量の最大と安定は困難であり、何らかの対策は必要となる。

特に、ⅲ)の見通しが明らかになりつつあったので、これまでの採掘地の地質調査結果に加えて再度弾性波探査を実施し、さらに地質技術者の現地調査を行ない爆砕量の予想とクラッシャーの破砕量の検討を実施した。破砕機への負荷の少ない採掘計画を立案の根底とした施工計画を作成したが、その中核となるのが 10m キューブを利用した 3 次元 GIS による採掘地の地質、位置データの採掘への利用であり、これにより破砕機の限られた能力をクリティカルとした制約下での最大安定出荷の達成への目処が立ったのである。
その主たる計画は下記 1)から 5)の通りであり、その内容については本論で概略を記述する。

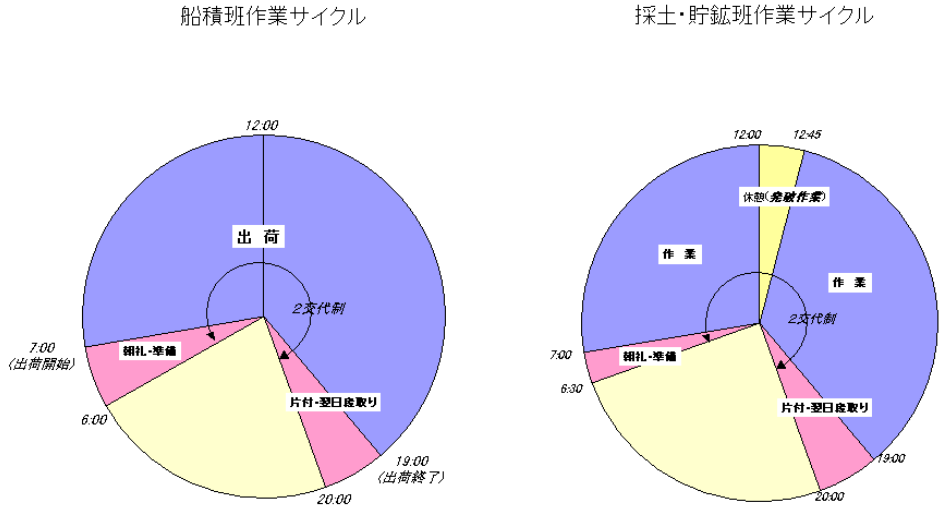
1) ホッパー(土砂投入口)周辺整備効率化計画
2) 採土輸送設備　補修・補強・改造計画
3) 採掘地管理システム計画
4) 桟橋周辺海域航行監視システム
（　4)は関空、関空用地造成会社と古野電気が開発したシステム ）
5) 採掘計画

３．３．１．１　適用工事の稼動条件

関空２期工事における採掘地の稼働条件は、周辺の要求より次の条件で生産活動を実施する事となった。稼働日及び稼働時間については、

(1) 月曜から土曜日までを稼働日とし日曜日は休日とする。祭日も稼働する。
(2) 稼働時間は、7時00分～19時00分の12時間である。

具体的には、船積み作業と採土・貯鉱作業の作業は準備と後片付けを含めて12時間であり、その作業の内容は作業サイクル図(図3-8)の通りである。船積み作業は12時間（図3-8(a))、採掘・貯鉱作業は昼の休憩時間45分を省いた11時間15分である（図3-8(b))。また、作業の前に準備時間を30分～１時間をもうけ朝礼・KYミーティングを実施する。作業後に同様に片付け・翌日の準備に１時間をもうけ、特別な重機・設備整備などの作業は、夜間と休日に実施する計画にした。



(a)　船積みの作業サイクル　　(b)　採土・貯鉱の作業サイクル

図3-8「船積み」と「採土・貯鉱」の作業サイクル図

３．３．１．２　工事個所の岩質

採土地の地質・岩質は採掘の施工に影響し、特に硬岩の有無は発破工の採用などその施工機械とコストへの影響が大きい。以下(1)と(2)に、本採土地の岩質について記述する。

(1)　岩石の種類

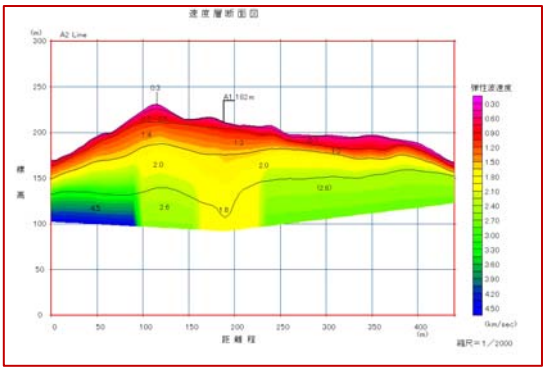
採掘地域の地質は、粗面花崗岩(明神花崗岩)、中粒花崗岩、中粒花崗閃緑岩(志筑花崗閃緑岩)の３種より構成されている。従って、採掘する主たる岩石は、花崗岩及び、風化花崗岩（マサ土）であり、その風化度合いにより弾性波伝播速度は4km/s程度の硬岩から土砂まで変化に飛んだ分布(図3-9(a)～(d))となっている。埋立て材料として要求される品質はシルト分以下の含有率は10%以下と国土交通省の埋立て材料の品質管理基準の20%以下を下回る良質材料である。

(2)　土軟硬比率と発破比率

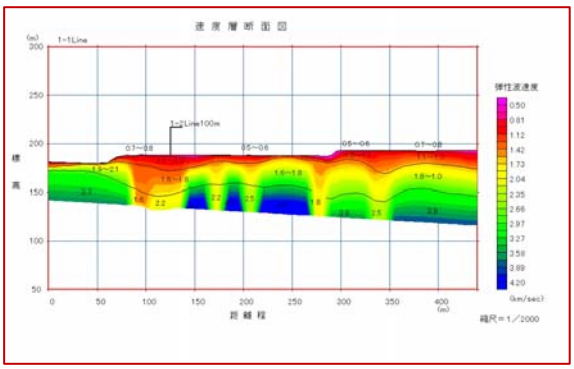
地表踏査及び、弾性波探査結果(図3-9)より、土軟硬別掘削土量を以下のように推測した（表3-1参照)。また、発破対象岩は、軟岩Ⅱの70%、硬岩の100%とし、発破比率を 52.5%（=40.3×0.7 + 24.3×1.0）と推定した。

表3-1　土軟硬別　掘削土量

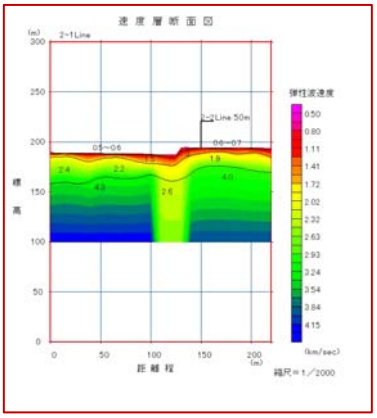
速度 (km/s)	岩級区分	土岩分類	土量比率 (%)
0.5～0.8	D	土砂・軟岩Ⅰ	35.4
1.4～1.8	CM・CL 混在	軟岩Ⅱ	40.3
2.8～4.8	CM（～CH）	硬岩	24.3
計			100.0



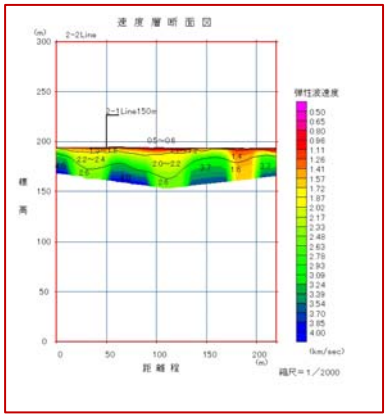
(a) 南北縦断の西側側線



(b) 南北縦断の東側側線



(c) 東西横断の南側側線



(d) 東西横断の北側側線

図 3-9　弾性波探査結果

３．３．１．３　供給資材の品質管理基準

適用工事が供給する埋め立て材料の品質管理基準と生産管理について概略を記述する。

(1) 品質管理基準

関西国際空港への供給材料(山砂材)の品質管理基準は表 3-2 のとおりである。

表 3-2　関西国際空港㈱の山砂材の品質管理基準

管理項目	管理内容	管理方法	品質規格	測定頻度	結果の整理方法	備　考
材質	外観	観察	異物の混入のないこと	1 隻毎	観察記録を提出	異物を発見した場合は除去する
	シルト分以下の細粒含有率	JIS　A　1204 又は監督員の承諾する方法	20%未満	1 回／日	試験成績表を提出	支給材料除く

	種類、品質及び粒土	JIS A 1102 JIS A 1204	シルト分以下の細粒含有率 20%未満	施工前、採取地毎	試験成績表及び見本を提出	支給材料除く

(2) 生産時の品質管理

適用工事では、(1)の関空品質管理基準に適応した供給材料を生産するために以下の 1)、2)で供給材料の品質管理を生産プロセスの管理と生産後の品質確認について記述する。

1）生産時のプロセス管理としては、下記の 1～3 に示すとおりである。

1. 最大骨材寸法の管理については、

a.グリズリバー(写真 3-3 の縦ふるいの目)の間隔を 200mmとする。

b.破砕機の破砕径を 150mm とする。

a、b を定期的に計測し a については間隔調整、b については溶接による肉盛りの実施により最大骨材を 200mm 以下として管理にする。

2. シルト分以下(75μ以下)の細粒分含有率については、メスシリンダー法により計測し、短時間で結果を把握している。1 日 1 回程度。

3. 1、2 に加えて目視による管理を破砕貯鉱段階で実施している。

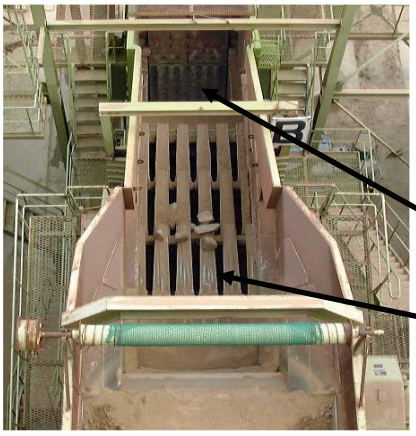


写真 3-3 グリズリスクリーン

設備では、グリズリパーの間隔による最大骨材寸法の管理と金属探知機の設置と異物除去設備による混入防止によりプロセスにて管理しているが、貯鉱部分で目視を行っている。

(3) 生産後の品質管理としては、1、2 のとおりである。

1．外部機関による篩い分け試験を行っている。

2．その他に溶出試験を発注者の要望がある毎に実施している。

３．３．２　採土工の施工計画

適用工事では、大量かつ安定採掘を行なうと共に周辺への環境負荷と走路の輻輳低減を計るため、大型重機による施工とベンチ発破工法を基本とした。

３．３．２．１　採掘対象の岩種と重機の組み合わせ

採掘は、それぞれ土砂・軟岩・硬岩の別に(1)～(3)の工法にて計画した。

(1) 土砂：ブルドーザによる集土（一部リッピング）、ホイルローダ・バックホウによる積込みとした。

(2) 軟岩Ⅱ：発破が必要な箇所は発破後、バックホウによる直接掘削・積込又は、ブルドーザによるリッピング・集土＋ホイルローダによる積込とした。発破の不必要な個所は土砂と同様とした。

(3) 硬：発破後、バックホウによる直接掘削・積込または、ブルドーザによるリッピング・集土とホイルローダによる積込みとした。

３．３．２．２　採掘数量と重機の選定

(1)　採掘数量

適用工事が関西空港２期造成工事へ供給を担当する時期は、関空２期造成の初期から 5 年間の 3500 万 m^3 である。他に稼働する供給土源は少なく洲本と岡山程度であり、岬、加太など大規模な供給地の稼働前の時期を担当することであった。そのために、要求された採掘数量は、特に稼働初期にあっては、関空２期造成工事の進捗を支えるために採掘可能最大量の量を安定して供給することが求められた。筆者らは、関空１期の稼動実績の検討と設備の最大稼働を想定して次の出荷量を目標とした。１日当りの最大出荷量は 46,000m^3、平均出荷量は１日当たり 40,000 万m^3、１月当りの出荷量は 100 万m^3、年間 1,000 万m^3 である。出荷供給目標量は、関空１期の出荷実績を大きく上回ものであり、関空１期の実績の１日当たり最大 35,000m^3、１日平均出荷量 31,900m^3、年間 800 万m^3 を、関空２期の計画量は関空１期を 25%以上上回るものであった。関空１期以降の運営実績による従事者の持つ固有技術と個別技術による効率化と最新機材を最大限活用し取り組むことにした。

(2)　重機の選定とサイクルタイム

採掘数量など要求に応える計画を次の手順にて計画した。採土工は、大型重機による採掘を実施することにし、目標のサイクルタイムを算出しその実現への計画を検討した。

(3)　重機の選定

重機の選定に当たっては、稼働上の支障を避けつつ最大限、大型で信頼度の高い機種を選定対象とし、計画を行った。選定した組み合わせは次の通りである。大型積込機械４台と大型運搬機械 9～10 台を用い、時間当り最大 7,000t（約 4,000m^3）の採土を計画とした（表 3-3 参照）。１日当りの最大出荷量は 44,000m^3、１月当りの最大出荷量は 100 万m^3 で、年間 1,000 万m^3 の数量要求に応えるラインナップとした。

表 3-3　２期工事の主要重機

分類	名称	仕様	台数
積込機械	※バックホウ	13.5m³級	2
	ホイルローダ(A)	11.0m³級	1
	※ホイルローダ(B)	13.0m³級	1
運搬機械	※ダンプトラック	91t	9
		87t	3
集土機械	ブルドーザ	95t級	4
		63t級	1
破砕機械	ブレーカ	3,250kg級	2
走路整備	モーターグレーダ	4.9m	1
	散水車	30t	1
	散水車	10t	2
発破作業	クローラドリル		2
計			28

※　仕様欄の積込機のバケット容量は『新 JIS　山積み』で表示

写真 3-4 採掘ヤード(北部より投入口方向)

写真 3-5 バックホウ積込み作業

写真 3-6 ダンプ運搬作業

写真 3-7 大型重機(ホイールローダ)の積込

３．３．３　発破工の施工計画

採掘の方法は大量に安定しての採掘を考慮し、発破工法には採掘効率の良いベンチ発破を最大限採用して採掘することを基本とした。発破の工法は、周辺家屋施設への振動・騒音・低周波の影響を考慮し規制条件を満たした発破を実施するため(1)～(5)の５工法より選定（図3-10）し施工することにした。

(1)ベンチ発破(ベンチ高10m)
(2)ベンチ発破(ベンチ高5m)
(3)盤打ち発破(h=6m)
(4)盤打ち発破(h=3m)
(5)制御発破

環境負荷面より、(1)から(5)の順に振動・騒音がより低下する発破方法であり、この5工法の選定に当っては、振動・騒音の低減を図りながら所定の爆砕効果を得ることを考慮したものである。図3-11と図3-12に、適用工事に採用したベンチ発破工法と盤打ち発破工法の発破設計を示す。(1)～(5)の各発破方法の範囲については、弾性波探査結果と試験発破をもとに決定した。さらに、火薬の使用量を低減させ、周辺への影響の低減が可能となる「重機併用ベンチ発破工法」を開発採用した。本工法は、我々が津名の採掘地において実施するに当たり名づけたものであり、実施の事例を調査したものではないが例を見ないものである。工法の概要は図3-15で図示し、一般工法との対比も示している。重機併用ベンチ発破工法のポイントは、硬岩・軟岩をバックホウによる自喰い可能なまでベンチ発破にて緩めバックホウで自喰いすることにあり、爆薬使用量の低減により振動など周辺環境への影響を低減できることにある。

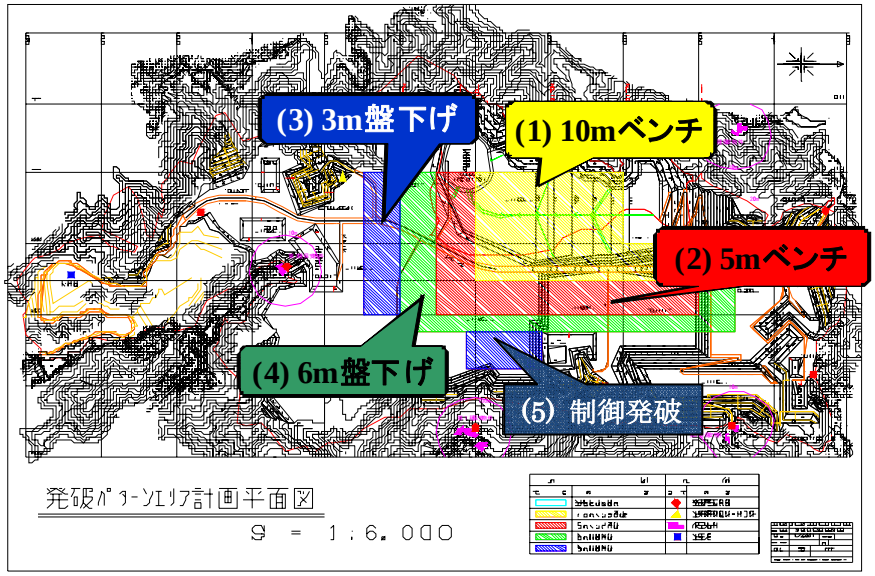


図3-10　発破パターンとエリア別発破計画平面図

ベンチ発破工法の設計断面は図3-11に示すが、本発破設計の諸数値は、ベンチ高さ10m、穿孔長11m、穿孔径100mm、穿孔ピッチ4.5m×4.5m、斉発量30.2kg/孔、発破係数0.15kg/m³とした。盤打ち発破工法については、図3-12であり、発破設計の諸数値は、盤打ち高さ6m、穿孔長6.5m、穿孔径90mm、穿孔ピッチ4.5m×4.5m、斉発量13.6kg/孔、発破係数0.11kg/m³の計画とした。上記の工法を含む発破工法の選定は、斉発量と周辺への影響度(騒音、振動、低周波)を考慮し、発破区域を工法で分類し、工法別の施工範囲を図3-10に示すように決定した。

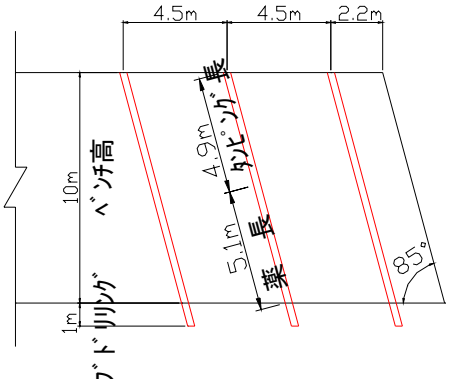


図3-11　ベンチ発破設計断面

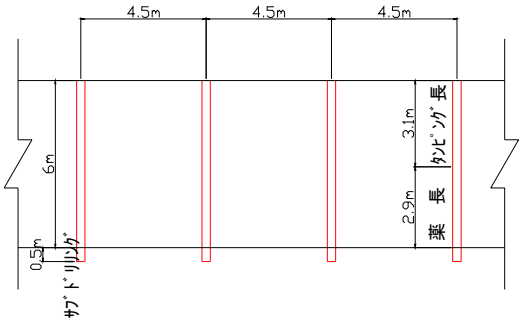


図3-12　盤打ち発破設計断

重機併用ベンチ発破工法を開発するに到った経緯を図3-13に示し、①～⑤にて説明する。図3-13は、左より

① 土砂出荷量、地山などの地盤条件
② ①に基づく発破設計結果
③ 従来工法の不具合
④ 重機併用発破工法の設計
⑤ 未然に防止される不具合(ねらい)

を示したものである。

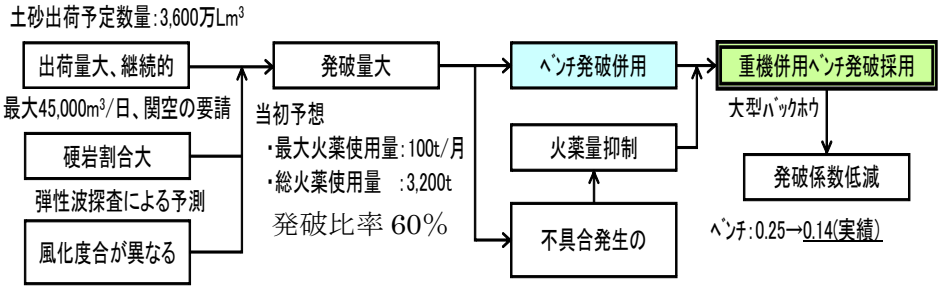


図3-13　施工CALS(関空２期、1999.12～2006.2)による発破工

重機併用発破工法を導入し、発破係数を通常のベンチ発破工法に比較して大幅に低減(0.25kg/m³より0.14 kg/m³に0.11kg/m³の低減)し、さらに、出荷量の増大と地盤条件の変化により、発破比率60%程度を目標に発破工を実施することにした。本工法のねらいは、適用現場の地盤条件による課題に対し、重機の持てる力を活用し、火薬の消費量を減らすことにあり、その結果「周辺地域への影響の低減」と流通する火薬を減らすことによる「火薬類の不正流出（盗難事故）防止」と「発破災害防止」を減らすことにある。関空２期以前の発破工の状況は図3-14に示す。地盤条件は関空2期に比較して地山も表土に近く硬岩の比率も少なく、年間出荷量も少なかったために盤打ちによるゆるめ発破とブルトーザのリッピングにて施工した。そのため、発破比率も７％を下回るものであり、発破工の不具合は工程全体への影響は少なかった。

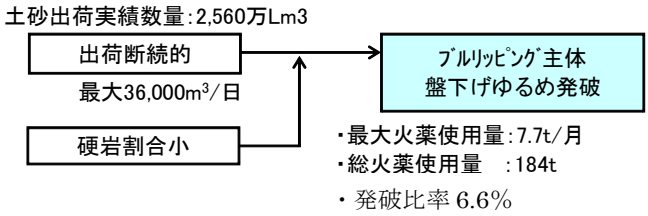


図3-14　従来工法(関空１期の1988年4月～1999年12月)による発破工

関空２期工事向けに採用した重機併用ベンチ発破工法の特徴（図3-15、写真3-8）は、積込み重機の自喰いする力を活用することにより、作業中のブルドーザによるリッピング、集土と盤打ち発破の工種を除外できる工法(CEの工程の簡素化事例)であり、作業サイクルタイムを短縮できることにある。

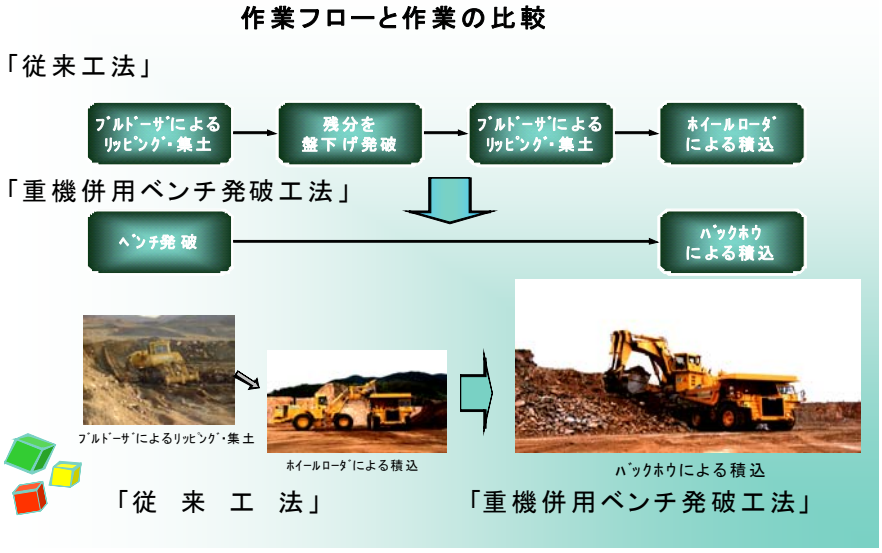


図 3-15　従来工法と重機併用ベンチ発破工法の比較

しかしながら、発破設計を誤り積込み重機による地山の自喰いが不可能となると、再度の発破を実施するか、あるいは、ブルドーザによるリッピング、ドージングの作業が必要となり、大幅な作業時間と費用が必要となる。本工法の採用には、ベンチ発破の管理、特に対象岩の硬度、穿孔間隔、薬量など発破工の管理など高度な発破技術による確実な爆砕の実施が必要となる。まさに、高度情報化施工の「緻密にデータを活用し、最低限の入力で適切な成果を得る」への取り組みであり、掘削機の油圧系の進歩による、力の発揮が可能な大型化重機の実現も本工法開発採用の要素である。保安物件からの距離が近く、振動や低周波振動の影響が予想される場合は、火薬量の斉発量をさらに削減出来る盤打ち発破とし、ブルドーザによるリッピング、集土とホイルローダによる積込みとした。

更に近接しての発破作業が必要な場合には、制御発破によることとした(図 3-10)。

(a)　重機併用ベンチ発破工法の積込み状況

(b)　集土～積込み(従来工法)

写真 3-8　従来工法とベンチ併用発破工法の比較

３．３．４　採土輸送設備の補修・改造の施工計画

採土輸送設備の補修・改造の計画検討経緯は、3.3.1 施工計画の(1)生産計画の検討において生産計画最大化の生産設備の改造と改修についての結論を示している。

稼働当初より供用されてきた採土輸送設備の概要と関空２期向けに補修・改造する計画について記述する。採土輸送設備には、投入口～破砕～貯鉱～ベルトコンベア運搬～船積みの設備が含まれる。その設置延長は 2.2km と長大であり、設置場所も標高 170m の山地より海上部までに及ぶ(図 3-17)。設置場所も、高さ 30m の貯鉱部から国道上部、旧国道の下越し部の 13m 落差からトンネルと多様な場所を通過し海岸に至るものである (図 3-16)。これらの施設は直列に配置されており、投入ホッパーに投入された材料が所定の品質に製造され船積みされる。無駄のない単線の製造ラインである、それゆえ故障・不具合に対するバッファラインを持たせていない。有期作業の仮設備であることと、大規模な設備であり補助機能設備への投資も高価であることなどの制約があるためである。いずれかの工程でトラブルが生ずると、全ての工程に影響を与え、予定されている土砂の出荷停止を余儀

なくされる。円滑に土砂出荷を進めるためには、広大な現場に配備されている職員と設備のすべてに関わる情報を逐次把握して、必要な情報を現場運営に反映させていくことが重要である。

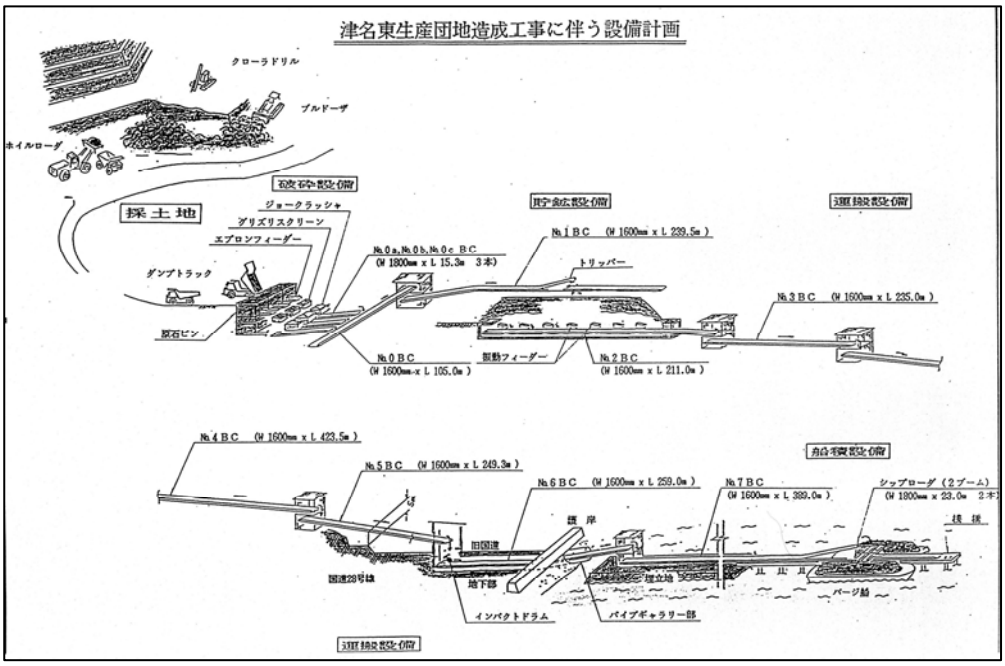


図 3-16　設備計画図

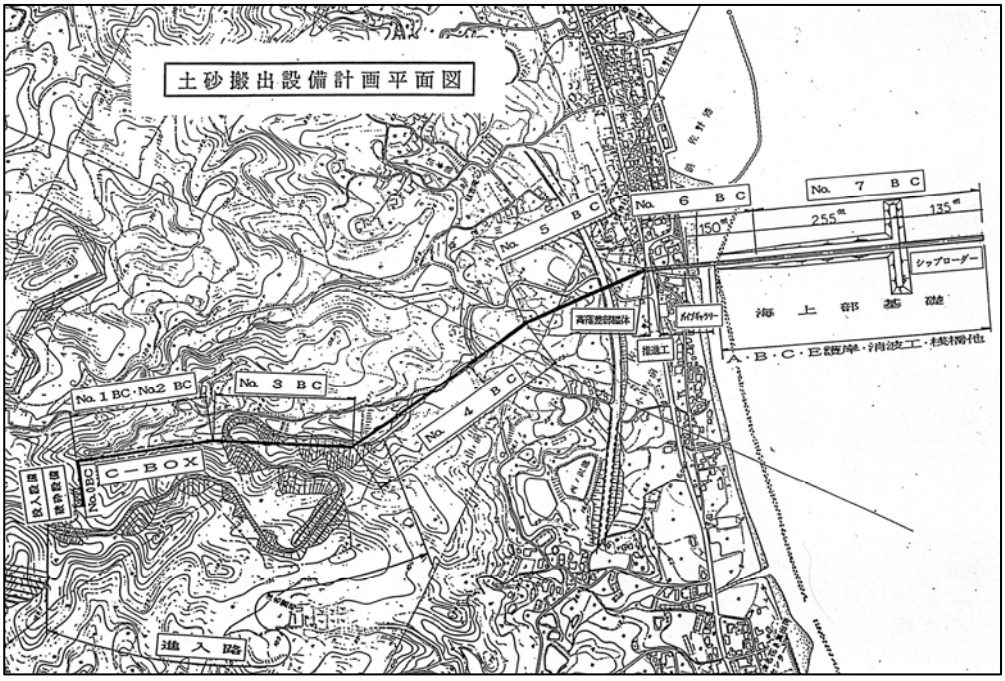


図 3-17　設備計画平面図

本制約条件をもとに、個別技術による効率化と情報活用による工事の協働を実現に取り組むことにした。本設備は 1988 年に稼働を始めた 10 年以上供用のものであり、関空 2 期向けに 1999 年より最大量を安定して稼働させようとの計画である。設備稼働への対応は、稼働率の向上への改造、稼働期間中の周辺への環境負荷低減を含め支障を来さないように補修することとした。

以下に、投入口（ホッパー）と採土輸送設備補修と改造工事について、概要をそれぞれの設備について記述する。

⑴　土砂投入ホッパー及び周辺設備の改造計画

土砂投入ホッパー(以下ホッパーと記す)は、ダンプ運搬からベルトコンベア運搬への結節する設備(写真 3-9)であり、稼働するダンプトラックがその運搬する岩石をダンプし、破砕設備への引き出しまでを一時貯鉱(図 3-16)するものである。

(a)　投入口前面

(b)　投入口側面

写真 3-9　ダンプトラックによる投入口への投入状況

その容量は約 500m³ とダンプトラック 10 台程度となっている。稼働するダンプトラックが 40 秒に 1 台、3 か所のホッパー前で切り返し・後進し・投入口に車両を付け・ダンプし(写真 3-9)・ベッセルを下し・前進の作業を繰り返す、その延べ回数は 1 日当たり 730～800 回程度となる。全幅 29m に 3 か所の投入口を設けているため、1 投入口当たりの幅は、9.5m となる。ダンプトラックの幅は 5.2m であり隣接する投入口へのダンプトラックとの余裕幅は 4.3m となる。これは、ダンプトラック 0.8 台分の幅であり、仕事開始時の混雑時・夜間などの視程が不十分な時期に不具合の発生が指摘された。そのために、効率的に投入させるための設備整備を実施したが、改造前のおもな不具合は、ダンプトラックの投入待ち時間の発生・朝夕の暗い時間の走行効率の低下・投入口位置確認時間のロス・騒音粉塵の影響などである。それぞれの不具合へ対策を計画・実施し、施工したが、そのベースとなる考えは運転者が安心して安全にホッパー投入できる設備とすることである。改造の実施内容は、カクテル光線の照明増設、車止めの安心を兼ねてホッパーの嵩上げ、空きホッパー

表示の信号設置、防塵防音壁の増設、防塵ネットの設置などである(図 3-18)。

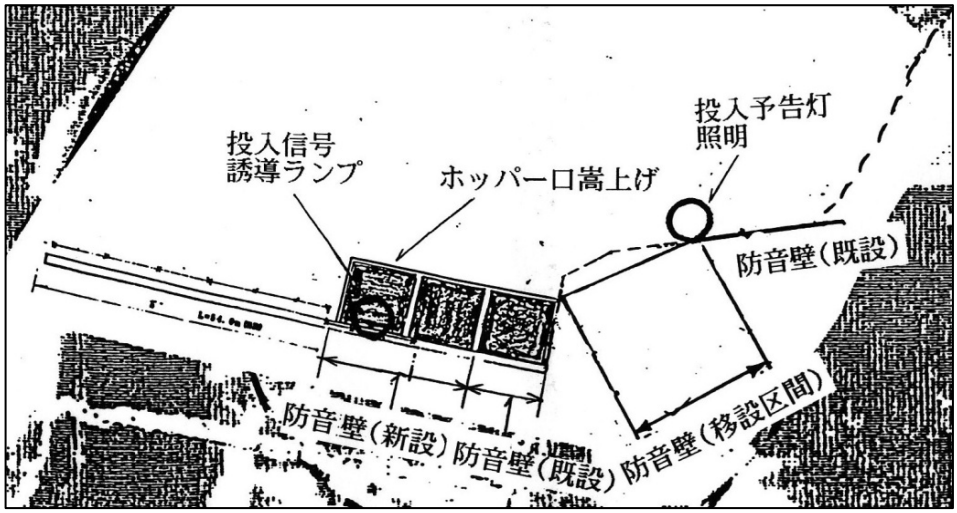


図 3-18　投入口（ホッパー）周辺補修・改造計画

⑵　破砕施設と改造計画

本破砕設備は、投入口の原石類を投入ホッパーより引き出し、振動フィーダー(図 3-20 右写真参照)で所定(最大骨材、関空２期では 200mm)寸法以上を通過させ、破砕機(ジョークラッシャー)により所定寸法以下に破砕するものである。それぞれの能力は、図 3-20 の通りである。破砕機のトッグルプレートにて、所定の骨材寸法に調整することが可能であり、標準寸法での破砕能力は一基あたり 840ｔ／時間となっている。3 基が設置されており、その全体能力は、2,520ｔ／時間である。

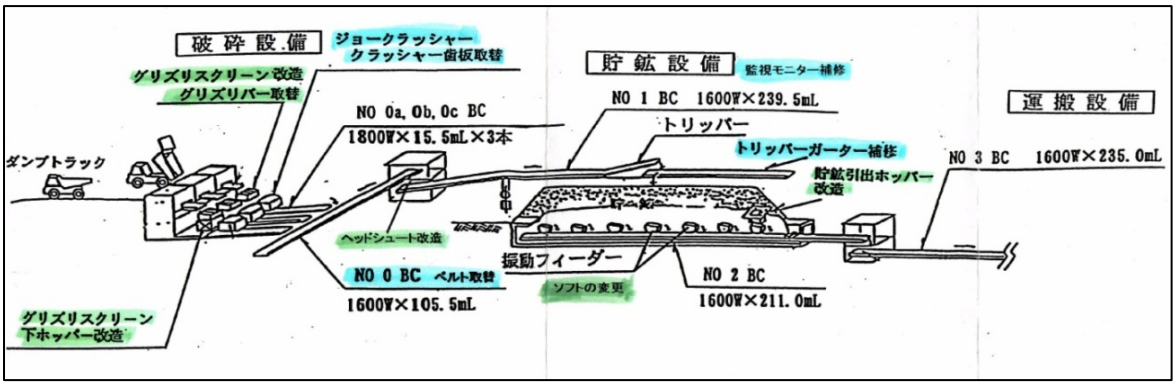


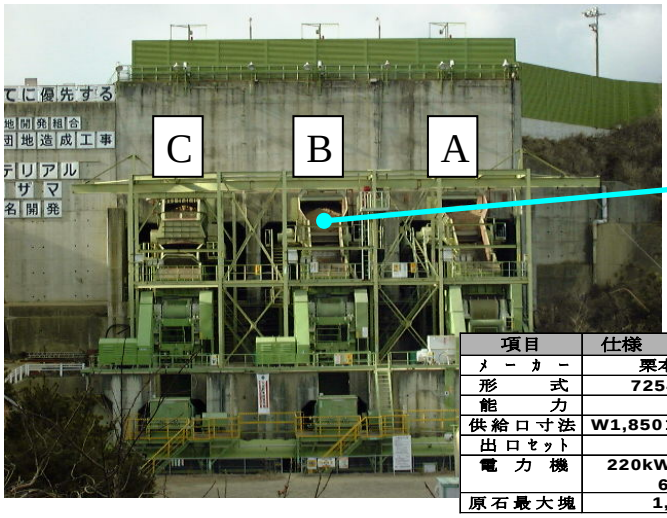
図 3-19　破砕設備と貯鉱設備概要と改造計画図

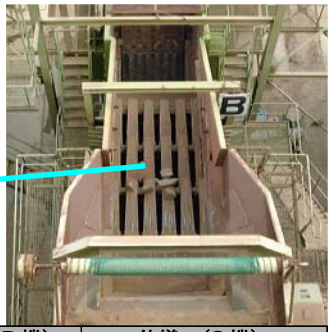
破砕施設の改造計画(図 3-19)では、①～③の改造により、長寿命化を図ることによりメンテナンス回数を減らし稼働率を向上させることとした。

①　破砕機の歯板を高性能なものに交換する

② グリズリスクリーンのグリズリバーの取り換え

③ グリズリスクリーンの下ホッパーを土砂ホッパーに改造





項目	仕様 （A、B 機）	仕様 （C 機）
メーカー	栗本鉄鋼所	神戸製鋼
形式	7254-ST-SP	ST54-74
能力	MAX 840t/h･台	
供給口寸法	W1,850×L1,350mm	W1,880×L1,370mm
出口セット	O.S.S 230mm	
電力機	220kW(3,300V×60Hz)	260kW(3,300V×60Hz)
原石最大塊	1,000 mm×1,400 mm×1,800mm	

図 3-20 破砕施設全面、振動フィーダ～破砕機と設備能力図

⑶ 貯鉱設備と改造計画

貯鉱設備は採掘地と船積み設備の間に設置され生産された製品を一時ストックする設備であり、製造と船積みの両工程の時間と製造力と積込み能力との差を調整するために設置されているものである。

ﾍﾞﾙｺﾝNo.	単位	No.0BC	No.1BC
台数	台	1	1
輸送能力	t/h	7,500	
ﾍﾞﾙﾄ幅	mm	1,600	
ﾍﾞﾙﾄ速度	m/min	260	
水平機長	m	105.0	239.5
揚程	m	2.0	7.7
設備動力	kW	150×1	220×1
電源	V×Hz	3,300×60	

図 3-21 貯鉱設備の全景と設備能力図

従って、貯鉱量が大きいほどその調整能力が大きくなるが貯鉱方式と貯鉱量がコストを支配するため設備設置条件にて決定することになる。本工事では、野積みでの貯鉱方式と

し設置個所の条件よりデッドストックは 10 万 m³ 実質のストック量は 1 万 m³ として運用した(図 3-21)。貯鉱設備は、破砕設備で生産され No.0、No.1 ベルコンにより運搬された材料をトリッパーにてベルコンの両側に撒きだして、下部のストックヤードに山積みの状態で一時貯鉱(ストック)しておく設備である。そして、運搬船が着岸すると、貯鉱場下部に設置されている振動フィーダーらより No.2 ベルコンに引き出し、それぞれ下流の輸送設備にて船積みするものである。貯鉱設備の補修・改造は以下の部分を実施した。

① 貯鉱運営のコンピュータのソフトを改造
(船積みの連続積込みを実施するために積分重量計のデータ処理の変更による)

② 貯鉱引出しホッパーを改造 （ 対摩耗性能を高めた ）

③ 監視モニターとトリッパーガーターを補修

①～③の改造と補修により、長寿命化と性能向上を図ることによりメンテナンス回数を減らし稼働率を向上を図ることにした。

⑷ ベルトコンベア運搬設備と改造計画

ベルトコンベア運搬設備は、破砕設備から貯鉱場を結ぶ No. 0 ～No. 1 ベルトコンベアと貯鉱場からシップローダーを結ぶ No. 2 ～No. 7 のベルトコンベアの 2 系列のコンベアラインが設置されている。それぞれのラインの稼働時間が異なる為に、ベルト幅は同一とし、ベルト速度にて調整して一日 12 時間の運搬量を同じとしている。

ﾍﾞﾙｺﾝNo.	単位	No. 2BC	No. 3BC	No. 4BC	No. 5BC	No. 6BC	No. 7BC
台　数	台	1	1	1	1	1	1
輸送能力	t/h	6,800					
ﾍﾞﾙﾄ幅	mm	1,600					
ﾍﾞﾙﾄ速度	m/min	250					
水平機長	m	211.0	235.0	423.5	249.2	258.4	389.0
揚　程	m	-5.3	-16.5	-32.0	-33.4	14.95	1.1+10
設備動力	kW	200×1	250×1	250×2	280×2	300×2	280×2
電　源	V×Hz	3,300×60					

図 3-22　ベルコン運搬設備の写真(No.2～7)と設備能力図

従って、No. 0 ～No. 1 ベルトコンベア(破砕設備～貯鉱場)はベルト速度が 260m／分で輸送能力は 7,500 t /h(図 3-21)、No. 2 ～No. 7 のベルトコンベア(貯鉱場～シップローダー) は

ベルト速度が 250m／分で輸送能力は 6800ｔ/h(図 3-22)となっている。また、投入口が標高 170m 程度。船積み施設まで約 2.2km の水平距離で約 170m の高さを下る勾配となっている。途中の No. 4 と No. 5 のベルトコンベアの間には、国道部の道路下を通過するために垂直に約 13m の高さ落下させ、No. 7 ベルトコンベア上にて受け、シップローダーまで運搬する構造となっている。そのため、縦断的にも均一な下り勾配とはなっていない(図 3-23)。

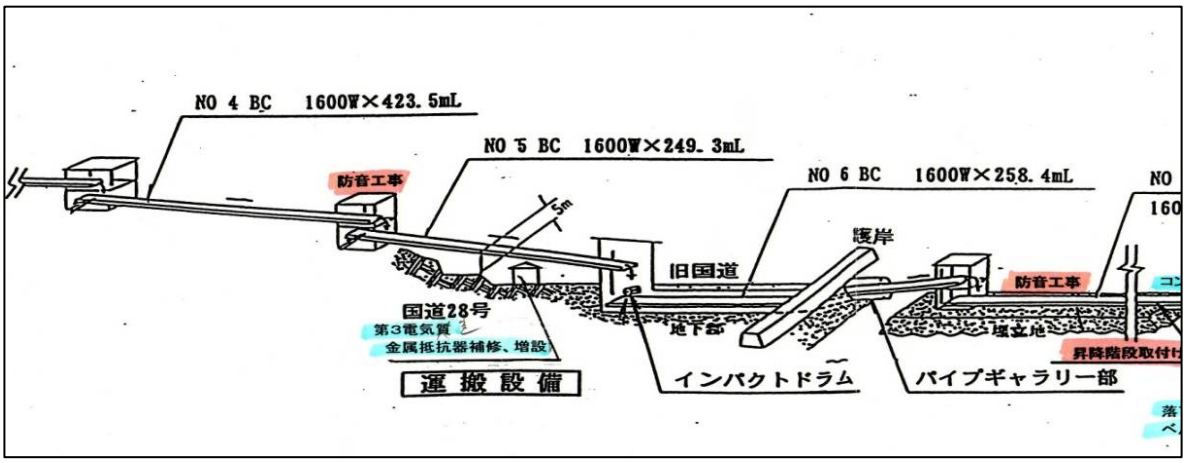


図 3-23　ベルトコンベア輸送設備と改造計画図

ベルトコンベア輸送設備の改造については以下①～④の改造を加えた。

①No.0 ベルコンのベルト取り換え

②No.5 ベルコン駆動部と No.7 ベルコンの防音工事(いずれも近接家屋が新設による)

③金属探知器の増設・補修

④ベルコンギャラリーの塗装

①～④の改造と補修により、長寿命化と性能向上を図ることにより稼働停止の防止とメンテナンス回数を減らし稼働率を向上させることとした。

⑸　船積み設備と改造計画

適用工事で設置している、シップローダーは、自走式である。土運搬船への積込みはブームコンベアによる方式であり、ベルトコンベアの伸縮長さは 23m となっている(写真 3-10～13)。シップローダーの長さは積込み船舶の幅をもとに決定されており、本桟橋への就航船舶が 7,500 重量ｔとしていることによる。また、桟橋の下部工も同様に就航船舶の 7,500 重量ｔと接岸速度により設計されている(図 3-24、図 3-25)。桟橋部分については、仮設構造としての設置が設計条件であり、鋼管杭の厚みなど海中と海上ともども 11 年の経過による健全度の評価が焦点であった。長期間設置による腐食をはじめとした老朽化が進んでおり、腐食部分の交換など大規模な改造が必要となり、その実施に対しては健全性の向上(写真 3-14、写真 3-15)がポイントの一つであった。

項目	単位	ｼｯﾌﾟﾛｰﾀﾞｰ	ﾌﾞｰﾑｺﾝﾍﾞﾔｰ
台　　数	台	1	2
能　　力	t/h	―	6,800
ﾍﾞﾙﾄ幅	mm	―	1,800
ﾍﾞﾙﾄ速度	m/min	走行速度(0～10m/min)	250
水平機長	M	―	23
設備動力	KW	11×4	(110+7.5)×2
電　　源	V×Hz	3,300×60	6,600/440×60

図 3-25　　船積み設備の全景と設備能力

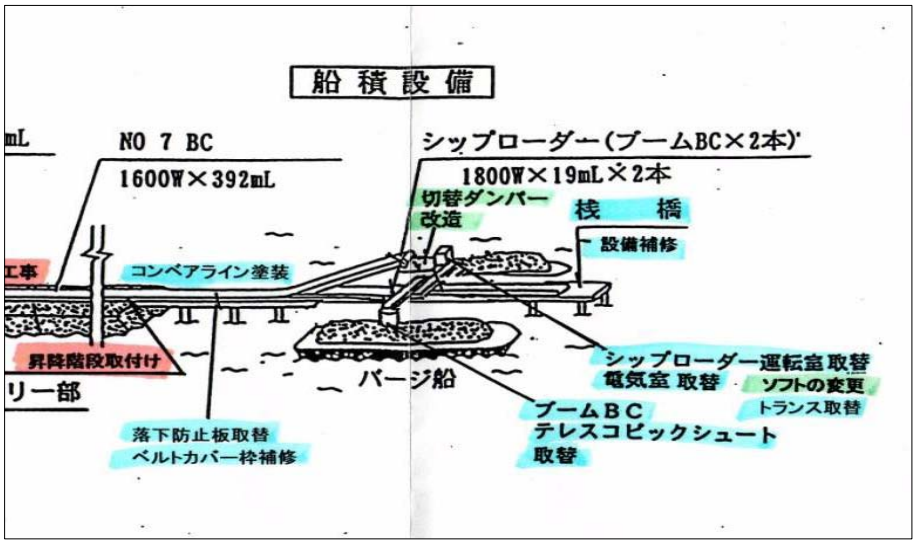


図 3-24　シップローダー設備と改造計画図

写真 3-10　ブームコンベアによる船積み

写真 3-11　土運船の両側への接岸

写真 3-12　積込み状況

写真 3-13　離岸から関空海域へ就航

改造は海中部から上部までに及び、長寿命化、性能向上と防塵機能の増大を図り、稼働停止の防止とメンテナンス回数を減らし稼働率向上を図った。

写真 3-14　被膜防食工

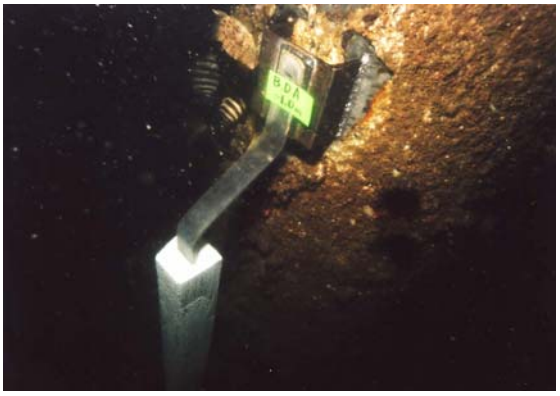


写真 3-15　電気防食工

主要な改造・補修は以下①～⑥を実施した。

①桟橋先端防衝工の撤去新設

②桟橋鋼管杭の補修と防食工（ 写真 3-14、3-15 参照 ）

③ブームコンベアへの切り替えダーパーの改造

④トランス、電気室、運転室の交換

⑤人員と機材用の昇降設備の設置(No.7BC 部)

⑥テレスコシュートの交換

３．４　個別技術による施工の効率化

３．４．１　個別技術による効率化への対策

施工当たっては、事前に施工条件を検討し、要求機能を満たした最適な目的物を提供する為に最適な計画を立案し、施工に移すことになる。本研究の適用現場は、関空１期(1988 年)より稼動しており、10 年以上の実働にて蓄積された技術を駆使して、関空２期への計画行った。この長年にわたる稼働に参画した多くの技術者・技能者による効率化への提案が、個別技術による効率化である。その全体の計画は、3.3.1 施工計画に記述した。個別技術による効率化について、その主なものを紹介すると表 3-4 となる。関空１期の実績を上回る大量の土砂を安定的に供給する為、時間当たりの生産量向上を目的とした工法上の改善と個々の改善策を以下に示す。

表 3-4　個別技術による主要な効率化対策

ねらい			具体的な改善策
a. 環境負荷の低減	a-1. 火薬使用量の低減		① 重機併用ベンチ発破工法の採用
	a-2. 適正な発破工法の選定		① 発破のエリア別の工法選定
	a-3. 重機の燃費向上		① サイクルタイム短縮による効率化
b. 採掘生産量の増大	b-1 サイクルタイム短縮	b-1-1 走行効率の向上	① 大型重機の採用
			② 重機燃料のカロリー向上
			③ 運搬走路　平面線形の改善
			④ 運搬走路　縦断線形の改善
			⑤ 走路幅員の拡幅、分岐・合流の最小化
			⑥ 大型グレーダによる走路の定期整備
		b-1-2 積込効率の向上	① 積込み機械バケットの容量増大
			② ダンプへの積込み角度の最適化
			③ ダンプ待機位置の改善
	b-2 重機休止時間の低減	b-2-1 維持補修の低減	① 重機摩擦部分の性能向上
			② 予備車の配置
			③ タイヤ仕様の適合性向上
c. 船積み停止ロスの低減			① シップローダ切り替えダンパの改造
			② 大型補助タグボートの配置

ねらいを具体的に説明すると、a ～ c (表 3-4)のねらいに対し各工種工程の作業の改善を実施した。

a. 環境負荷低減に対しては、発破工法の火薬使用量の削減と適正化(3-3-3 発破工の施工計画参照)と採掘工の最適化による燃費の改善に対し具体策を実施した。

b. 時間当たりの採掘工生産量の増大に対しては、b-1 サイクルタイムの短縮と b-2 重機休止時間の低減に対して対策(表 3-4)を実施した。

c. 船積み停止ロスに対しても具体策(表 3-4)を実施した。

a.環境負荷の低減

a-1 火薬使用量の低減と a-2 適切な発破工法の選定(表 3-4)については、3-3-3 発破工法の施工計画に記述した。本項では、「a-3　重機の燃費向上による環境負荷の低減」について記述する。

積込み～ダンプ運搬～投入の重機作業の最適化を図ることにより、1 期工事より燃料消費量を削減させ、結果として、騒音等を含めた環境負荷の低減を図ることとした。具体策として、施工サイクルの無駄を排除し、サイクルタイムの短縮を図ることにより燃料消費量を低下させようと具体策を実施することとした。ダンプトラックのサイクルタイムについては多くの対策の結果としての集計要素が多いため、目標サイクルタイムについて記載し、サイクルタイムと燃費の実績と分析については、第 5 章施工 CALS の適用の評価に記述する。ダンプトラックの運搬作業は、積込み～運搬(実車)～投入待機～投入～運搬(空車)～積込み待ち～(積込み機へ)切り替え(図 3-26)を繰り返すことになる。ダンプトラックを 9 台配置し、目標時間投入量の 7,300 t をクリアするためには 1 サイクル 8 分 20 秒(500 秒)を全ダンプトラックの平均サイクルタイムとする必要がある。

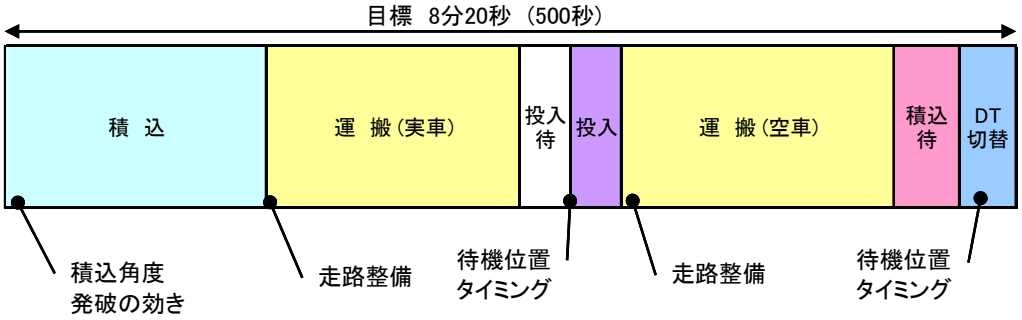


図 3-26　ダンプトラック運搬サイクルと目標

b. 時間当たりの採土工生産量の増大

時間当たりの採土工生産量の増大へ「採掘工のサイクルタイムの短縮」と「重機休止時間の低減」を一次のねらいとし、「採掘工のサイクルタイムの短縮」に対しては「走行効率の向上」と「積込み効率の向上」に対し多くの対策を実施した。また、「重機休止時間の低減」に対しては「重機維持補修の低減」へ対策を実施した。それぞれの対策について、以下に記述する。

b－１－１　走行効率の向上

走行効率の向上対策へ多くの対策を実施したが、その主たる対策とし実施した①～⑥の改善策について記述する。

①　大型重機工法の採用

作業の効率化へ大型重機の採用は重機施工の効率化策として指向されるが、本体重機の制約より本適用現場での運用について運搬をダンプトラックで検討すると、走路占有面では優位となるが、投入口のホッパー幅よりみると車体幅の広さは限界がある。重機の故障を考慮すると、稼働率面より大型化は不利となる。また、故障部品の調達面からも、タイヤなどトラック運搬が無理となる場合は制約となる。以上の制約の中で可能な大型化を検討した、その結果を表3-5に示す。

表 3-5　関空２期工事の主要重機

分類	名称	仕様	台数
積込機械	※バックホウ	13.5m³級	2
	ホイルローダ(A)	11.0m³級	1
	※ホイルローダ(B)	13.0m³級	1
運搬機械	※ダンプトラック	91t	9
		78t	3
集土機械	※ブルドーザ	95t級	4
		63t級	1
破砕機械	※ブレーカ	3,250kg級	2
走路整備	※モーターグレーダ	4.9m	1
	※散水車	30t	1
	散水車	10t	2
発破作業	クローラドリル		2
計			28

※　仕様欄の積込機のバケット容量は『新JIS 山積み』で表示

関空１期工事の主要重機編成(表3-6)と比較すると、採掘量が1期36,000m³/日より2期44,000m³/日と22%増大したにも拘らずほぼ同数の重機の配置台数となった。特に運搬重機については、関空１期15台であったものを関空２期では大型化を図ったために12台と、3台(－20%)減らしての運搬重機編成(写真3-16)を実現した。なお、関空２期工事にて大型化した重機は※印にて表中に示した。

表 3-6　関空１期工事の主要重機

分類	名称	仕様	台数
積込機械	バックホウ	11.0m³級	1
	ホイルローダ	11.0m³級	3
運搬機械	ダンプトラック	78t	3
		45t	12
集土機械	ブルドーザ	63t級	4
		32t級	1
走路整備	モーターグレーダ	4.1m	1
	散水車	10t	2
発破作業	クローラドリル		1
計			27

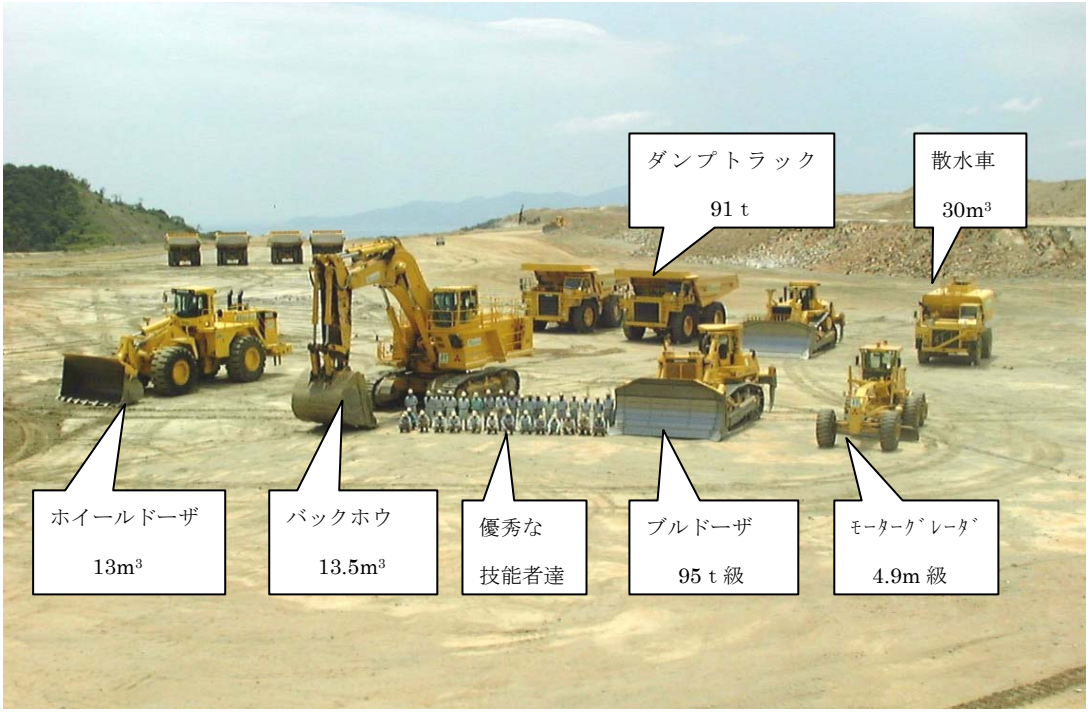


写真3-16　大型化した重機群と運転従事者

②　重機燃料のカロリー向上

燃料を１期工事で使用していた灯油から低硫黄A重油（硫黄分0.1%未満）に切り替える事により作業効率向上、燃料消費低減を図った（表3-7）。また、コスト変動が小さいといった利点もあった。

表 3-7　燃料詳細

項目	低硫黄 A重油	舶用 重油	軽油	灯油
密度(g/m³)	**0.8332**	0.8719	0.83	0.795
セタン指数	**56.7**	44.1	45以上	－
動粘度 (cst)	**2.637**	3.241	2.5以上	1.5
10%残炭分 (%)	**0.39**	0.58	0.1以下	－
硫黄分(%)	**0.07**	0.88	0.05以下	0.015 以下

エンジンの出力はシリンダ内に噴射される燃料の重量によって決まり、A重油の場合、灯油に比べ密度が大きい事と粘度が高い為、出力が向上すると考えられている。(一般的に、最高出力が10%向上すると言われている）この事だけを考慮すると、燃料消費量は灯油の方が密度の差だけ良くなるが、出力の差を埋める為に（最高出力以外）オペレータがアクセルを多く開き、A重油の方が燃料消費量は良くなると考えられている。実際のダンプトラックにおける現場試験では、A重油の方が約3%少なくなり高効率・低燃費という結果となった。また軽油と比較してもセタン指数、硫黄含有量共に遜色なく、軽油使用時と同等とみなす事が出来る。

③　ダンプトラックの走行環境の改善

ダンプトラックの走行は、無繰り返し作業であり１台当たり１時間に 7～8 回の運搬作業を実施する。そのため、走路の条件は生産性に大きく影響を与える。

写真3-17　運搬走路を投入口前面付近より望む

表 3-8　ダンプトラックの走路改善

項目	一期工事の状況	二期工事に向けた改善点
延長	1,300m	走路を出来るだけ早期に直線化し、平均延長を900m程度に短縮
幅員	25m	幅員を50mに拡幅
平均勾配	4.6%	5%程度以下を維持する
分岐・合流	多い	可能な限り減少させる
平面線形	カーブが多い	可能な限り直線化する

平面・縦断線形、走路幅員と分岐・合流については表 3-8 の内容を基本として走路改善(写真 3-17)を検討した。

③-1　運搬走路の平面線形の改善(早期直線化による運搬距離の短縮)

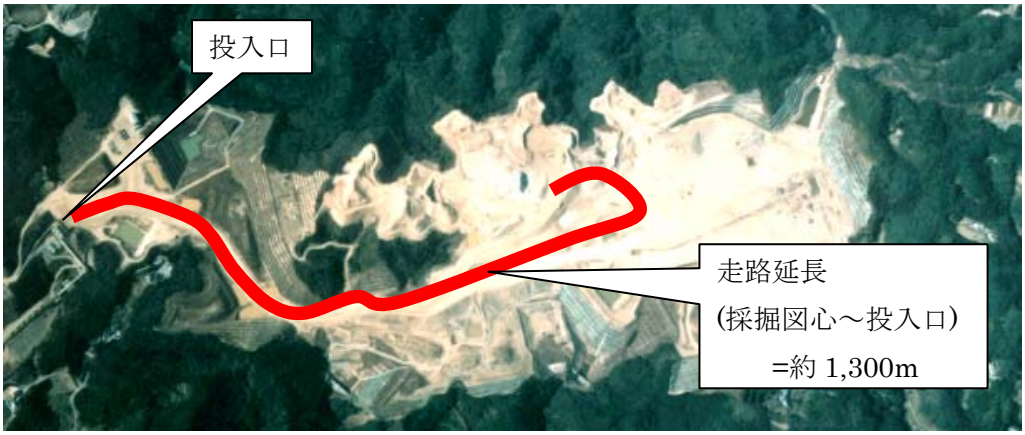


写真 3-18　平成 8 年(関空 2 期以前)の走路

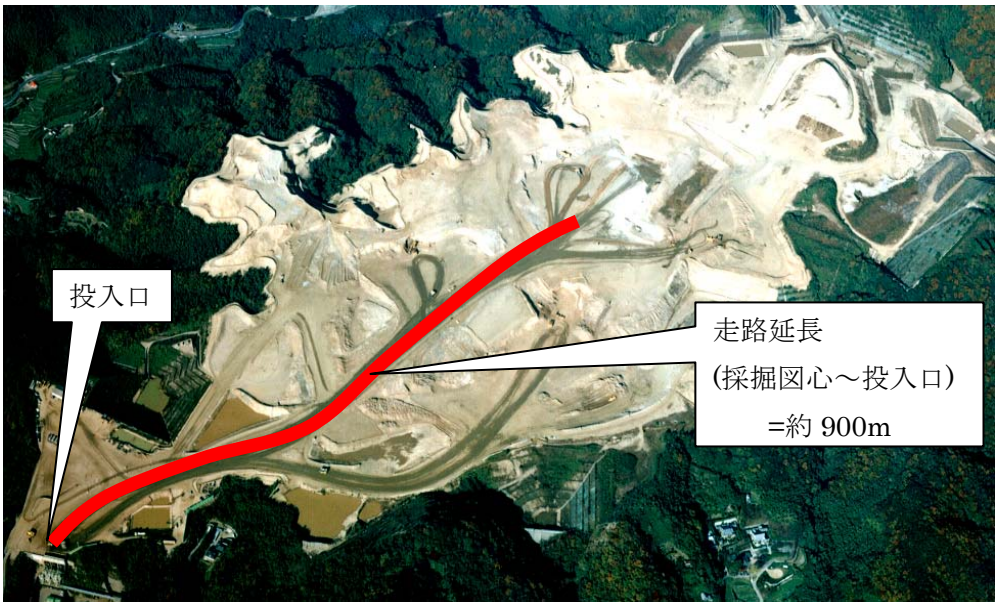


写真 3-19　平成 12 年(関空 2 期)の走路

関空１期工事では採土範囲の制約により迂回した走路(写真3-18参照)であったが、関空２期工事の計画では走行距離の短縮、走路混雑の解消を狙って走路を直線化した。その結果、平均運搬距離を1,300mから890mへと短縮した(写真3-19参照)。但し、平面線形は完全な直線とはせず緩やかなカーブを取り入れダンプトラックのオペレータがハンドルを固定せずに動かし続ける線形とした。この狙いはハンドル操作の刺激をオペレータに与えることによる作業のマンネリ化の防止であり、結果として安全意識の維持・向上にある。

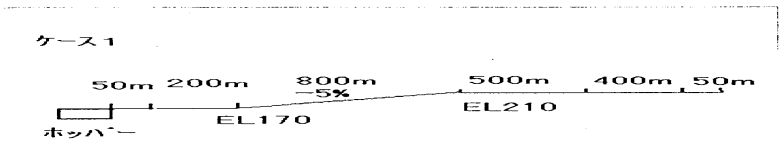
④　運搬走路の縦断線形の改善(走行シュミレーションによる)

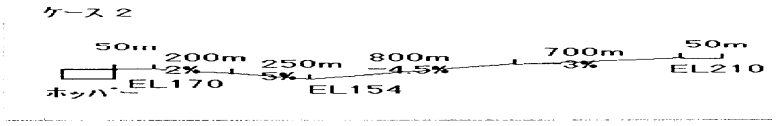
縦断線形の決定に当たっては、事前の運用検討を基に、重機メーカーの協力を得て運搬走路の走行シミュレーション(表3-9)を実施した。

表3-9　ダンプの走路走行シュミレーション

ダンプ走路シミュレーション条件

高低差　40m　　EL210－－EL170
走行距離(片道)　1050m　　(5%以下の勾配では近似値として1位以下切り捨て)
走路抵抗　3.5%　　整備された地道
積載量　91トン　(60m3,　105ton積載.)　　平均比重：1．75





ケース１　　速度：無制限

勾配区間距離	勾配	走路抵抗	区間サイクルタイム	平均速度 積車	平均速度 空車	燃料消費	運搬回数	生産量	燃費当たり生産量
m	%	%	sec	km/h	km/h	l/h	回/h	m3/h	m3/l
50	0	3.5	実車	13.7	17.8	86.27	5.49	329.4	3.82
400	0	3.5	3.22	29.9	58.2				
500	0	3.5	実車	34.7	51.6				
800	−5	3.5	2.83	57.4	40.8				
200	0	3.5		53.9	42.2				
50	0	3.5		17.8	19.1				
				38.2	43.4				

ケース２　　速度：無制限

勾配区間距離	勾配	走路抵抗	区間サイクルタイム	平均速度 積車	平均速度 空車	燃料消費	運搬回数	生産量	燃費当たり生産量
m	%	%	min	km/h	km/h	l/h	回/h	m3/h	m3/l
50	0	3.5	実車	13.7	17.8	82.32	5.73	343.8	4.18
700	−3	3.5	2.92	45.8	44.7				
800	−4.5	3.5	実車	63.0	48.7				
250	5	3.5	2.75	43.1	64.4				
200	2	3.5		24.4	45.0				
50	0	3.5		16.4	19.1				
				42.1	44.7				

ケース２　　速度：４５ｋｍ/ｈ

勾配区間距離	勾配	走路抵抗	区間サイクルタイム	平均速度 積車	平均速度 空車	燃料消費	運搬回数	生産量	燃費当たり生産量
m	%	%	min	km/h	km/h	l/h	回/h	m3/h	m3/l
50	0	3.5	実車	13.6	17.8	76.97	5.14	308.4	4.01
700	−3	3.5	3.67	41.2	44.4				
800	−4.5	3.5	空車	45.0	42.3				
250	5	3.5	3.02	24.4	45.0				
200	2	3.5		21.2	42.3				
50	0	3.5		16.4	19.1				
				33.6	40.7				

その内容は、ダンプトラックの走行速度と縦断勾配を種々変更しつつ燃費当り運搬量を

決定項目として実施し、投入ホッパ付近の勾配については、1)～4)条件でダンプトラックの走行シミュレーションを行ないケース２を採用した。ケース２は、下り勾配のみではなく、投入ホッパ付近を5%未満の上り勾配を入れ勾配による減速によるブレーキ負担軽減への寄与と燃費が向上することより採用した。

シミュレーションの検討条件は、以下の1)～4)である。

1）走路は十分な走路幅を確保し、走路の維持整備を定期的に実施することよりよく整備された地道とした。

2）ダンプトラックの積載量は、容積は60m^3、積載重量は105ｔとした。

3）走路勾配は、2ケースで検討した。

ケース1は、採掘面より投入口まで一定勾配とした場合。

ケース2は、緩和区間を設け土砂投入口（クラッシャーホッパー）付近では投入口へ向けて若干の上り勾配を設けた場合の２ケースで検討した。

4）ダンプトラックの走行速度は、45kmの制限した場合と制限速度を設けない場合に分けた。

シミュレーション検討結果を時間当たりの生産量で見ると、1)～3)の順序となった。

1）ケース２の速度制限なし

2）ケース１の速度制限なし

3）ケース２の制限速度45km

燃料当たりの生産量で見ると1)～3)の順序となった。

1）ケース２の速度制限なし

2）ケース２の制限速度45km

3）ケース１の速度制限なし

縦断緩和区間の設置と投入口手前の上り勾配を設置するケース２が燃費に効果があるとの結果を得た、運転手の安心感を与える効果を期待し、ケース２を基本に走路の縦断線形での運営を行うことにした(表3-9)。縦断勾配の最適化は運搬時のサイクルタイムの向上に加え、ダンプトラックのタイヤの損・摩耗低減、燃費低減への効果も予想された。

⑤　走路幅員の拡幅、分岐合流の最小化

当初は走路幅員を25mであったが、走路直線化と同時に幅員を50mに拡幅設置した。

また、走路の分岐・合流についても最低限の設置となるよう計画した。(写真3-19)

⑥　大型グレーダによる走路の定期整備

大型モーターグレーダ(ブレード長さ4.9m、写真3-16)により運搬走路の落石除去など定期的に整備を行った。これにより、安心走行によるダンプトラックは走行速度の維持，タイヤ寿命維持・向上などにも寄与させた。

b-1-2　積込み効率の向上

採用した大型重機に対し土質・岩室など適用現場の城検に応じた改造・改善を重機メーカーと共に検討・計画し、作業能力の向上を図った（表3-9)。本項では、①～③の改善策について記述する。

①　積込み容量の増大

通常、91tダンプとの組み合わせでは、積込機械であるバックホウ、ホイルローダは1サイクル6回の積込みとなるが、改造後(表3-10)は4～5回となり積込時間の短縮に繋がった。尚、バックホウに関しては、バケットの改造に伴いショートアームを採用しベースマシンの安定化を図った。

表3-10　重機改造一覧表

機種名	改造内容	改造前	改造後
バックホウ	バケット容量増	11.0m^3	13.5m^3
ホイルローダ(B)	バケット容量増	12.3m^3	13.0m^3
ダンプトラック	ベッセル容量増	60.0m^3	67.0m^3

※　容量については、特殊仕様へ改造（山積み換算）

②ダンプへの積込み角度の最適化

積込み作業の効率化を、バックホウとホイールドーザのそれぞれについて改善策を実施したその内容は以下に記述する。

②-1　バックホウの積込み作業

積み込み機(バックホウ)のブームとダンプトラックの側面の積み込み角度が概ね９０度以下となるよう、それぞれの重機を配置し積み込みを実施した(写真3-20(a))。旋回角度を小さくすることによりサイクルタイムの短縮を図ったものであり、ルーチンワークでの改善は累積効果を期待したものである。

(a)　９０度の積込み状況

(b)　Ｉ型積込み状況

写真3-20　積込み工法の比較

②-2　ホイルローダの積込み作業

ホイルローダからダンプトラックに積み込む時は積込効率とホイルローダのオペレータの疲労低減と作業時のオペレータへの刺激を与えることを目的としてⅠ型積込み（写真3-20（b））とした。但し、燃料消費を考慮するとⅠ型積込はⅤ 型に比べ燃料消費において劣るが、これは、ダンプトラック積込み時の燃料消費によるがダンプオペレータへの刺激を優先した結果である。

③　ダンプトラック待機位置の改善

待機位置から積込可能となるまでの時間を20秒以下となるように待機位置を改善統一した。オペレータによるバラツキが大きくその教育と標準化に多くの時間をさいた。

b-2　重機休止時間の低減

重機の故障による休止は生産量の減少に直結する。特に、積込み機の故障の影響が大きくその未然防止に多くの対策を行った。エンジンオイルを分析し金属分の含有などからパーツの不具合を予想し、稼働時間より定期的なパーツ交換を行なうなども一つの取り組みである。ここでは、重機の磨耗部分の性能向上、予備車の配置とダンプトラックのタイヤの適合性向上について紹介する。

b-2-1　維持補修の低減

維持補修頻度と要する時間の低減を図り稼働率の向上とメンテナンスに要する手間も低減させることとした。

①　重機摩耗部分の性能向上

掘削岩種が花崗岩・マサ土である為、ダンプトラックのベッセル下部、ブルドーザの排土板、バックホウ・ホイルローダのバケット等は著しく摩耗した。摩耗度合いの高い部分を耐摩耗材にて更に補強する事によって、機械の維持修理時間を短縮し稼働効率を向上させた。バックホウのバケット摩耗性能を向上させた補強工(写真3-21,22)に示す。

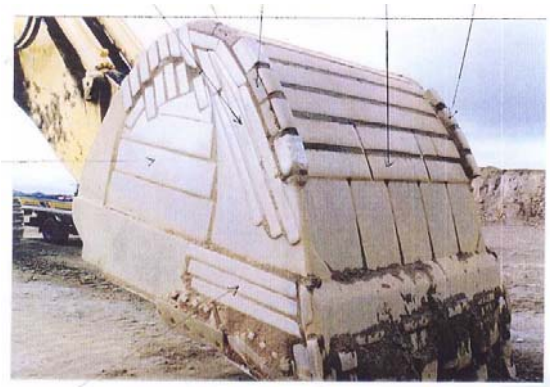


写真3-21　バックホウのバケットの補強

写真3-22　補強バケットによる積込み作業状況

②　予備車の配置

故障の未然防止に努め、工事の稼動終了後(19時)から作業開始(７時)までと休止日(日曜・関空現場休止時)にパーツ交換など維持作業と修理作業を実施した。休止リスクの高い積込み機(11m³)１台とダンプトラック(78ｔ)１台を予備の車両として配置した。

③ ダンプトラックのタイヤ仕様の適合性向上

建設機械に使用しているタイヤは一般のタイヤに比べ走行中のゴム内部の発熱が大きく、特に運搬機械であるダンプトラックはヒートセパレーションを考慮しなければならない。また、採土現場内を走行する為、タイヤの耐カット性・耐摩耗性も重要である。“ 耐カット性・耐摩耗性 ⇔ 耐熱性 ”となるゴム質・構造による、相反したタイヤの特性を考慮しなければならず、事前検討として現場でタイヤ温度測定を行った結果、耐カット性・耐摩耗性タイヤを前輪に装着した時には、実車下り勾配の為にダンプトラックの前輪の負担が大きくなり、タイヤの臨界温度を超えてしまう事があった。したがって装着するタイヤは前輪を標準タイヤ、後輪は耐カット性・耐摩耗性タイヤとした。また、定期的な点検結果から、推定寿命を摩耗率85%とすると 6,500 ～ 7,000 時間との結果が得られた。

※ヒートセパレーション：タイヤ内部に発生した熱が最初に接着剤を溶かし、コードなどを剥離させタイヤ寿命を縮める事。

c.　船積み停止ロスの低減

従来の積込みでは、切替ダンパーの構造上ベルト上の土砂を空にした状態でブームコンベアへの切り替え作業を実施していた。そのロスを低減させ、連続しての船積みを実施し、稼働時間の増大を図るために以下記述する①と②の改善を実施することにした。

①　シップローダの切替ダンパの改造

土運船に採掘された山砂を積込むシップローダ(写真3-10～3-13)は、両側に２隻の土運船を接舷させることができる構造となっているが、積込み作業は同時に両側へはできず、いずれか一方にのみ積み込む構造であり、片側１隻の積込みが完了の後に、切り替え積込みを実施する。この積込みの切り替え作業は、切替ダンパーの角度を変化させて積込みベルトコンベアを切り替える(図3-27 上の現状図)ことになり、切替ダンパーの角度変更作業は、土砂の積込み搬送を中断して無付加の空転状態で切り替えていた。そのため連続しての積込みとならず積み込み作業に中断時間が発生していた。その中断時間は約３分程度まで短縮しての作業が可能であったが、フル稼働で１日17～20隻の土運船への積込みでは50～60分のロス時間を発生させていた。12時間の稼働時間に対して7～8パーセントのロス時間であり、土運船一隻6,000トンの積込みが可能なロス時間であった。連続して積込むために設備を改造することとし、その内容は、切替ダンパーの側板を補強しパワーシリンダーの出力を上げることにより、積込み作業中での切替を実施できる構造に強化した。図3-27に改善策と改善前の構造比較図に示す。

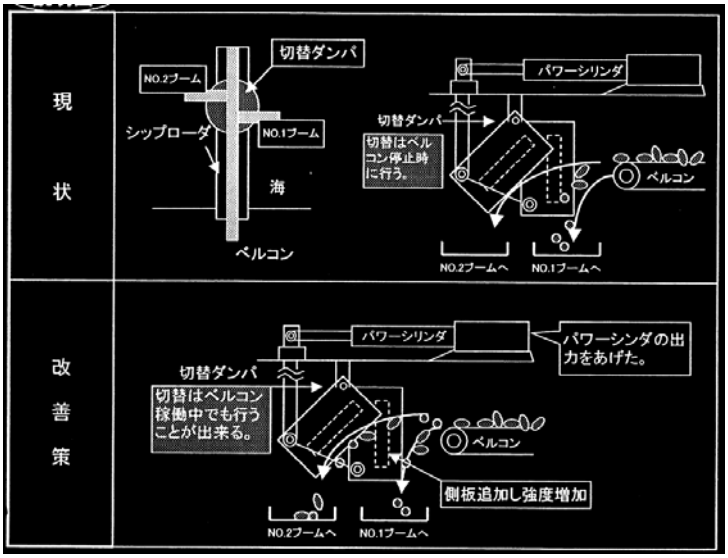


図3-27　シップローダー改造比較図

②　大型補助タグボートの配置

補助タグボート(1000ps)を配船(写真3-23)し、土運船の桟橋への着桟・離桟時間の短縮を図った。特に、風浪の条件の悪い時期の作業効率の向上に効果を発揮し、土運船の操船の原因による連続積込み停止を防止することにした。また、補助タグボートには漁船等船舶との衝突などを防止するための警戒機能も持たせ船舶事故も防止し海難事故による稼働停止も合わせて防止することとした(船舶の赤旗の警戒表示)。

写真3-23　補助タグボート(1000ps)

３．４．２　個別技術による施工の効率化とその限界

３．４．２．１　建設施工の課題

個別技術による施工の効率化へ多くの改善と設備の改修改造による効率化への取り組みの事例を示した。個別技術による工種工法への改善は、工種工法の局所への取り組みであり部分最適とも見ることができる。

全体最適への取組みへの課題解決への取組みが必要であり、その課題としては(1)と(2)をあげることができる。

（１）　適切な現場運営に合致した計画が立案されていない。

(２)　各種の施工情報が必要な時期に入手できず、適切な採掘管理ができない。

以上の観点より、適用工事で課題を具体的に示す。

(1)の適切な現場運営への計画立案については、1 日の工事計画の作成運用について、後者の「(2) 各種の施工情報が必要な時期に入手できず、適切な採掘管理ができない。」については、工事従事者とその情報の流れを調査する。

（１）　適切な現場運営に合致した計画が立案されていない。

従来施工(関空２期以前)での翌日の計画作成と運営（1 日の工事計画の作成運用）を調査しそのフローを図示した(図 3-28)。

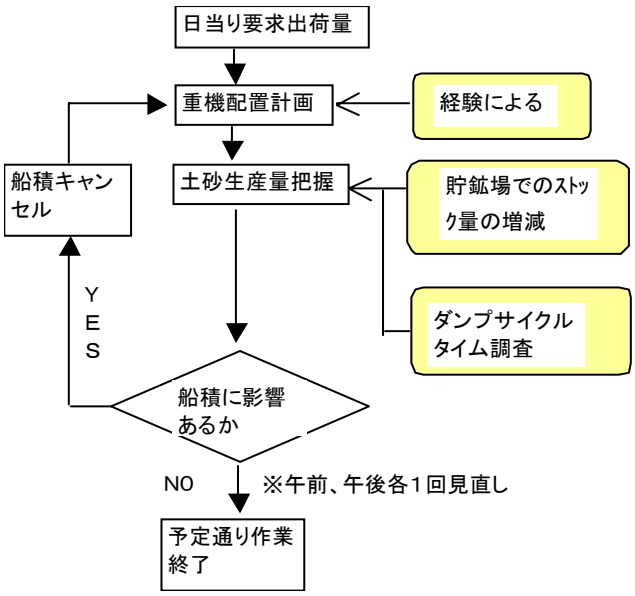


図 3-28　従来施工(関空１期時点)の１日計画作成フロー

これまでの経験により重機配置計画を作成し、当日の生産量の把握は貯鉱場のストック量の増減とダンプトラックのサイクルを測定していた。具体的には、「貯鉱量の増減」で採土場の生産量と船積み出荷量のバランスを把握していた。「ダンプのサイクルタイム」は、その重機配置での生産量の把握である。それぞれの管理作業が「貯鉱量の把握」について

は、自ら移動し、時間の経過の中で増減を把握するその時間と空間の移動が必要であることである。「サイクルタイム」についても同様であり、時間（手間と時間が必要）・空間（移動が必要）に加えて、そのデータは重機の配置を変更すると再測定が必要(陳腐化)となる。当然ながら、継続して測定が必要なことである。多くの人々が、自らの業務を遂行するために移動し時間をかけ情報を入手し続け判断をしていた。課題として挙げられるものは、

①「大量・安定して・長期間」への稼働は、これまでの経験範囲を超えること。

② 情報の入手と確認のために、多くの参画者が移動している。

③ 1日の採土地の運営のポイントは、「生産量の把握」と「船積み量の確保」であり、そのプロセス管理の指標として、「積込み機のサイクルタイム」と「貯鉱量の増減」に着目している。

（2） 各種の施工情報が必要な時期に入手できず、適切な採掘管理ができない。

施工情報の入手と適切現場運営への限界として存在する要因は次の二点が挙げられる。「長期間・大量・安定しての供給」と「広範囲に配置された、多くの工事従事者が施工状況の変化に伴い、それぞれの担当する立場で適切な判断を行い、所定の成果を得る（協働する）」ことである。すなわち、長期間、時間と空間を超えての多くの工事従事者の協働、が限界を超えるカギである。

(3)「長期間・大量・安定しての供給」を実現への課題

関空1期(1988 年)の稼動に参画した多くの技術者・技能者に蓄積された個別技術にて非効率な要素・要因の改善を図り、所要の数量を所要期間供給できる計画とした。

その要求の概要について、1期の実績と2期の計画を比較すると下記となる。

1期実績→2.8～3.2 万 m3／日　年間 700～800 万 m3／年(250 日)　稼動期間 1.5 年

2期計画→4.0～4.4 万 m3／日　年間 1000 万 m3／年(250 日)　稼動予定期間 3.5 年

関空2期計画は1期の実績を大きく上回るものであり、1日、1ヶ月の短期計画の達成は可能であっても、3年以上に及ぶ長期間の目標達成とその維持は困難と予想された。その為に、稼動・生産状況を把握し、所定量の生産を維持することの必要性は、関空1期時の稼働時の繁忙を思い起こすまでもなく、採掘～供給の仕組みを改善し、生産性の維持・向上へ何らかの道具が必要であるとの認識は強くあった。すなわち、個別・固有技術の集積により個々の課題の克服・達成は可能であるが、長期間の維持へは個別の固有技術の集積による解決(部分最適)には限界があるとも言える。その限界を超えるものとしては、施工プロセス全体を捉え、現状の施工プロセスを把握し、変化する施工状況へ柔軟な対応により生産水準など向上させることであり、工事プロセスでの工事全体の協働実現を図る必要があり、工事従事者の情報の共有と双方向化がベースのプラットホームとして必要である。そして、長期間の継続には内在する課題を掘り起こし実践段階での改善する取組みも求められる。

３．４．２．２　施工情報の利用における問題点

「広範囲に配置された多くの工事参画者の協働」について空間、時間と人的要素の限界があり、多くの関係者が広範囲に配置された現場で、施工などそれぞれの段階の多くの情報を伝達し、それぞれが共有し、それぞれの工程での適切な判断と、全体としての最適な結果を得るにはこれらの課題を解決するシステムの実現が求められていた。

表 3-11　施工情報利用における課題[6)]

時間的要素	空間的要素	人間的要素
時間がかかる情報収集	複雑なプロセス 大量なプロセス	手間がかかる情報収集 面倒な報告書作成
標準化による迅速化 手間取る情報確認	散乱している情報 会社で異なる利用情報	立場で異なる利用情報 判断が異なる情報理解
情報の陳腐化	業務によって 異なる生産情報	判断基準により異なる情報理解
意思疎通の悪さ	情報の埋没化 不統一な情報環境 使えない情報機器	膨大な紙情報

多くの工事参画者が広範囲に配置された場合、組織全体が一体として稼働させるには、多くの工事従事者間の情報の共有と双方向化が不可欠であり、施工情報の利用上の「空間的要素」、「時間的要素」と「人的要素」別に整理したものが表 3-11 であり、これらの要素の課題解決が工事のコンカレントとコラボレーション実現への近道であることを示している。そのため、関空１期時点の採掘工事他の現状の作業フローを調査し、作業内容を洗いだすことにした。作成した作業のフロー図とともに検討内容について記述する。

(1)　各種の施工情報が必要な時期に入手できず、適切な採掘管理ができない。

関空１期稼動時の情報の伝達について図 3-29 に示す。

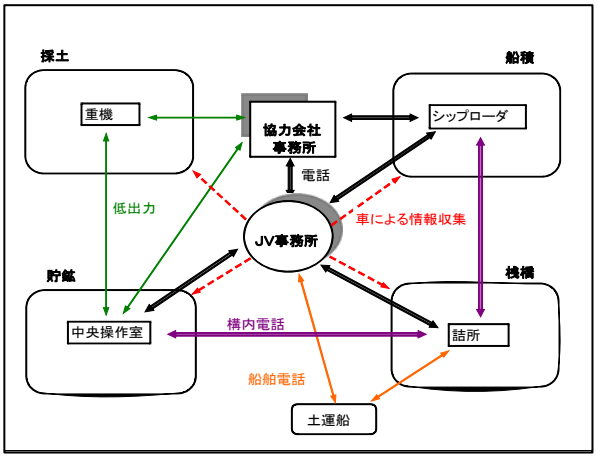


図 3-29　従来工法(関空１期時点)の工事現場内の情報伝達

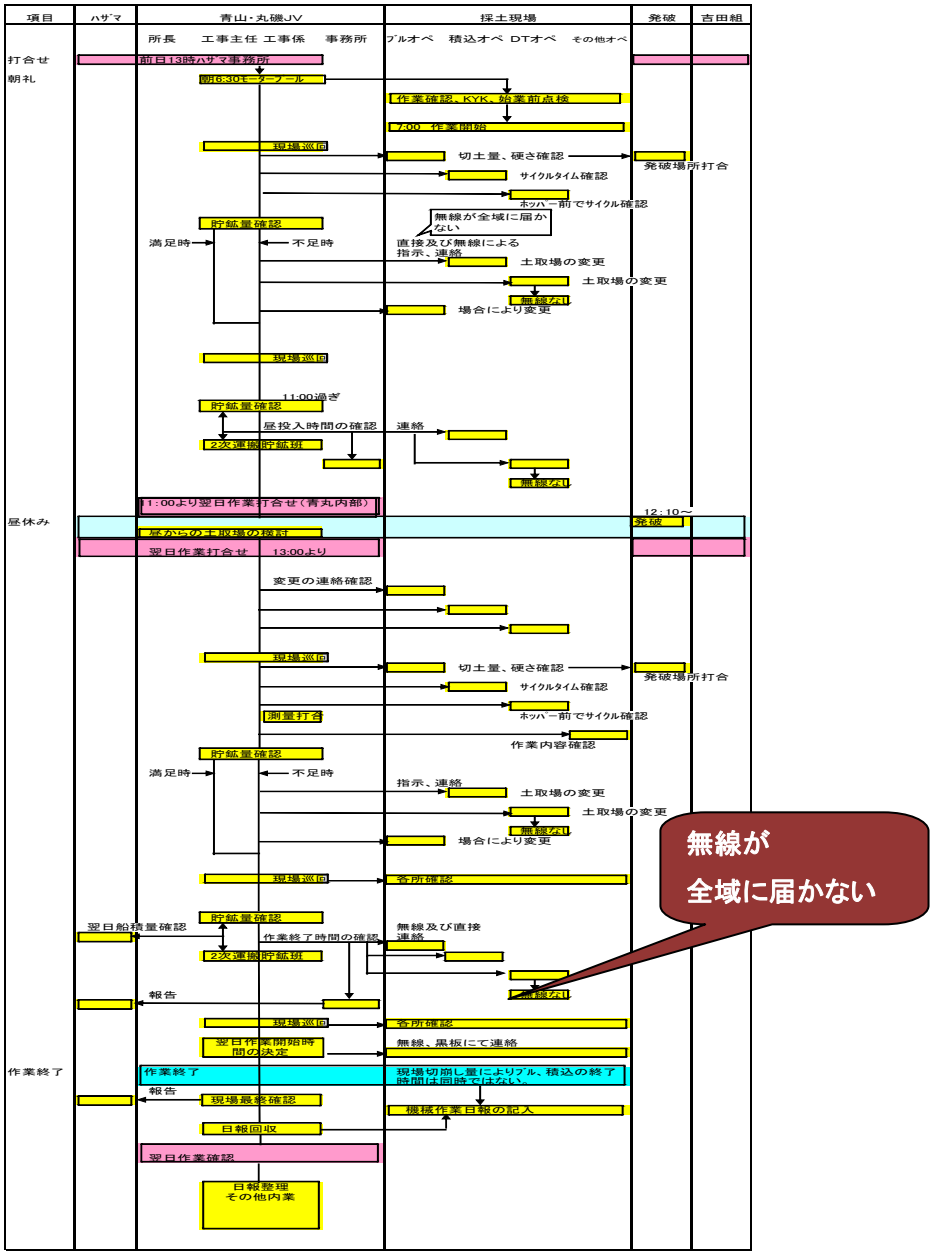


図 3-30　　従来工法による採土工事全体の作業フロー

情報伝達上の課題は、施工現場が広域に及ぶため、稼働開始時点の優良な機材を利用した通信網であったが広域な工事範囲を十分にカバーできていなかった。そのために、情報収集にも時間を要し、意思決定も同様であった。具体的には、事務所間の情報伝達・入手には、一般電話・構内電話・低出力トランシーバ・船舶電話・車による人の移動が利用されている。作業者間の情報伝達・入手については、人の手を介しており、作業のステップとしては、もう 1 ステップが必要となる。採掘～船積みまでの作業間の情報伝達については、稼働当初より効率化への取り組みを行ってきたが、多くの要素・要因により十分な連

携による稼働には至っていなかった(図 3-30)。

(2)　施工には、人・もの・仕組みが複雑かつ有機的に絡んでいる。

具体的には、時間的・空間的・人的な要素がその意思決定までに多くの時間を要する原因を構成している。図 3-30 は、関空１期時点の採土工全体の作業フロー、図 3-31 は貯鉱量の確認と採土量の変更判断のフローを調査したものである。多くの人々がそれぞれの所属組織の中で業務を分担し、作業を行っている。貯鉱量の確認作業について、詳細作業を調査しフロー図を作成すると工程数で 69 所要時間は 105 分であった。

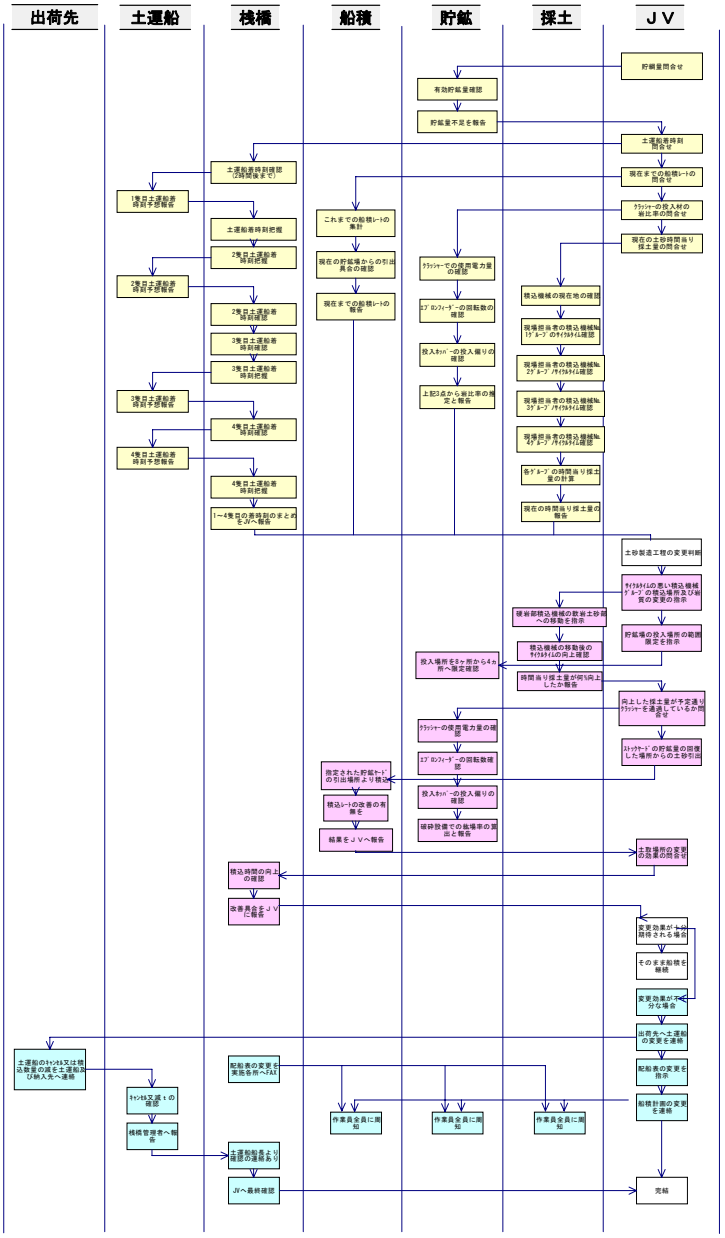


図3-31　貯鉱量確認作業のフロー

表 3-12 は、参画者の作業と処理時間を調査したものである。多くの技術者の参画と多くの時間をかけての運営が把握できる。

表3-12　　関空１期時点での作業と処理(作業)時間の調査

		元請 JV									協力会社											
		工事課長			工事主任			工事係			採土班			貯鉱班			船積班			桟橋班		
		情報形態	情報量	処理時間	情報形態	情報量	処理時間	情報形態	情報量	処理時間	情報形態	情報量	処理時間	情報形態	情報量	処理時間	情報形態	情報量	処理時間	情報形態	情報量	処理時間
1.有効貯鉱量の現在量																						
① 把握を指示					●																	
② 現在量を確認・報告		U		10	U		10	M		80				M		120						
2.土運船到着時刻																						
① 把握を指示					●																	
② 到着時間調査・報告		U		10	U		10	M		180										M		360
3.船積レートの現状																						
① 把握を指示					●																	
② 船積レート集計・報告		U		10	U		10										M		150			
4.クラッシャでの岩比率(負荷)																						
① 把握を指示					●																	
② 使用電力量確認														M		24						
③ ｴﾌﾟﾛﾝﾌｨｰﾀﾞ回転数確認														M		24						
④ 投入ﾎｯﾊﾟの投入偏り確認														M		60						
⑤ 岩比率を推定報告					U		10	M		60				M		120						
5.時間当り土砂生産量																						
① 把握を指示					●																	
② 積込機械現在地の確認											M		20									
③ 積込機械①Grのｻｲｸﾙﾀｲﾑ								M		120												
④ 積込機械②Grのｻｲｸﾙﾀｲﾑ								M		120												
⑤ 積込機械③Grのｻｲｸﾙﾀｲﾑ											M		100									
⑥ 積込機械④Grのｻｲｸﾙﾀｲﾑ											M		100									
⑦ 各Grの時間当り生産量計算								M		60	M		60									
⑧ 土砂生産量集計・報告		U		20	M		120															
6.土砂製造工程の変更判断		U		20																		
7.ｻｲｸﾙﾀｲﾑの悪い切羽変更指示		●																				
8.積込機械切羽移動指示					●																	
9.時間当り土砂生産量再確認																						
① 把握を指示					●																	
② 切羽変更の積込機械ｻｲｸﾙﾀｲﾑ								M		120												
③ 切羽変更なしの積込機械ｻｲｸﾙﾀｲﾑ								M		80	M		100									
③ 同上時間当り生産量計算								M		60	M		60									
④ 土砂生産量集計・報告		U		10	M		60															
10.クラッシャでの岩比率(負荷)																						
① 把握を指示					●																	
② 使用電力量確認														M		0						
③ ｴﾌﾟﾛﾝﾌｨｰﾀﾞ回転数確認														M		0						
④ 投入ﾎｯﾊの投入偏り確認														M		0						
⑤ 岩比率を推定報告					U		0	M		0				M		0						
11.有効貯鉱量の現在量																						
① 把握を指示					●																	
② 現在量を確認・報告		U		0	U		0	M		0				M		0						
12.船積レートの現状																						
① 把握を指示					●																	
② 船積レート集計・報告		U			U												M		0			
13.土運船到着時刻																						
① 把握を指示					●																	
② 到着時間調査・報告		U		10	U		10													M		0
14.配船変更の判断		M		20	M		40															
15.配船変更の連絡調整																						
① 山土連絡会との調整					M		40	M		80												
② 協力会社との連絡調整								M		120	M		40	M		40	M		40	M		40
				110			310			1080			480			388			190			400

(3)　施工には、目的構造物の品質・コスト・工期・安全・労務管理・環境と満たすべき要求項目も多い。

(4)　多くの要求項目を満たすための要因も多種に及ぶため、全体最適を図るには、多面的

な取り組みが求められる。図 3-32 は、関空１期時点の作業のフローのうち、土運船の遅れに対し採掘作業の調整作業を示す。それによると、船舶よりの遅早の連絡に対し、桟橋(吉田組)→全体管理(ハザマ・PS 三菱)→採土(青山・丸磯 JV)の検討に対し→採掘現場での情報の入手と確認を繰り返し→決定→作業配置→報告。ここまでが、変更でありその後管理作業へ移行する。この作業を工程(図 3-33)よりみると、工程数は 49 であることも判明した。

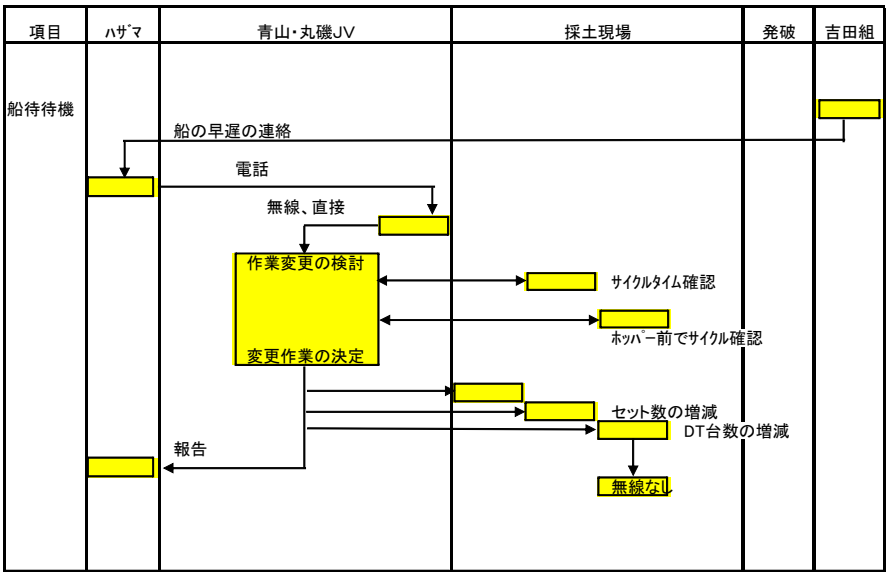


図3-32　1期作業の土運船の遅れに対し採掘作業の調整作業のフロー

一隻の船の遅早に、柔軟に対応するにも多くの参画者が、多くの作業と時間をかけている。情報機器を活用し、モニターなどによる情報(船舶情報と採掘のサイクルタイムなど)の共有と予測シミュレーションをリアルタイムデータの共有と連絡の短期化でコンカレントなど効率化が予測される。

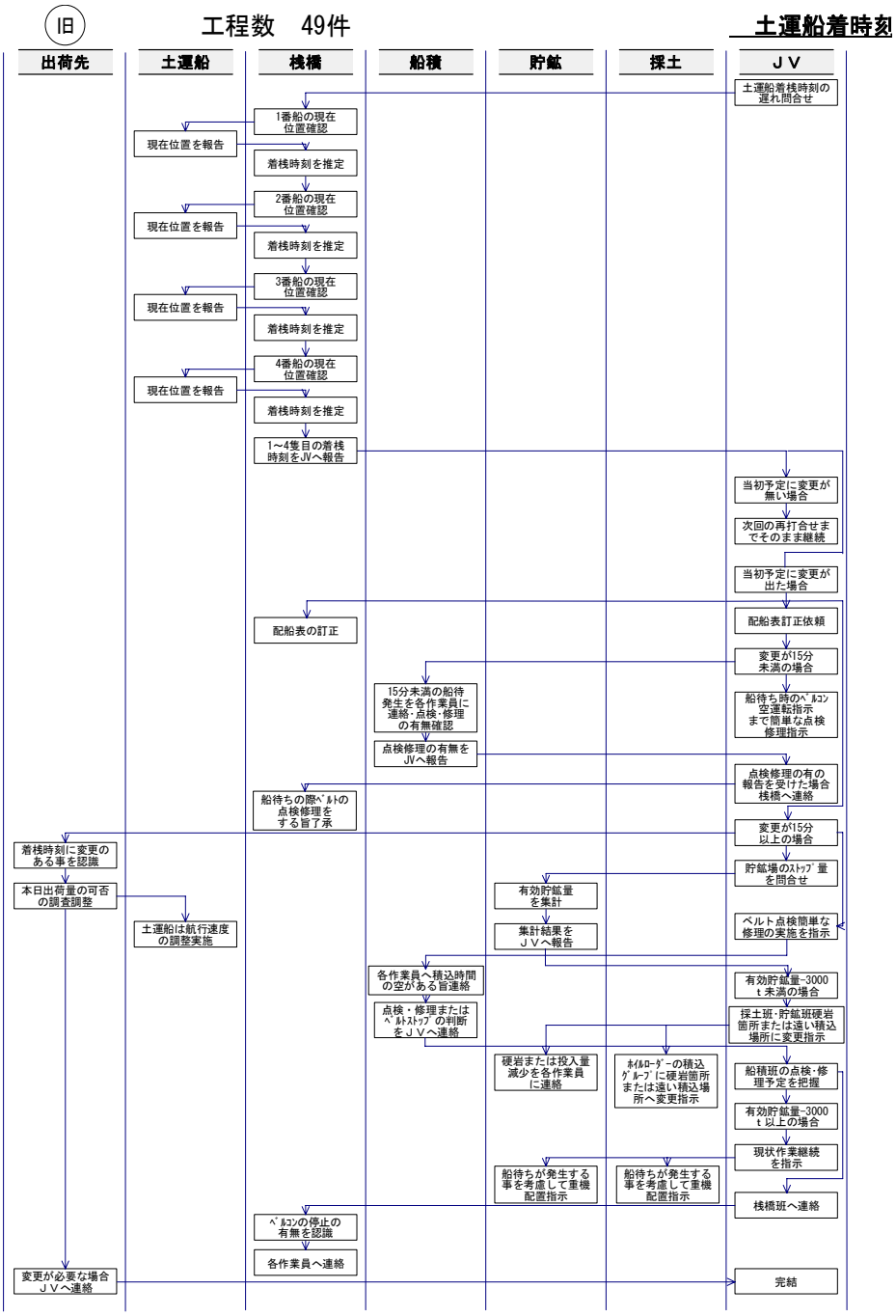


図3-33　1期作業のフロー(土運船の遅れに対し採掘作業の調整作業)

(5)　施工環境は刻々と変化するため、タイムリーな判断をしないと結果に結びつく判断とならないため、判断への情報はリアルタイムに入手する必要がある。

(6)　工事に参画する立場により求める情報が異なる

表3-13は、採土工事で参画者の階層と求める情報の内容を調査し集計したものである。

表3-13(a)は、採掘工事全体の内容であり、所属組織別、職位別に求めている情報項目別に集計した。同じ採土工事であっても着目している情報の内容は異なっている。表3-13(b)は、採掘工事の内の貯鉱量確認作業の内容であるが、同様に職位により求める情報の内容は異なっている。また、意思決定についても、工事施工に参画する立場により判断に必要な情報も異なることは当然といえる。

表3-13　工事参画者の階層と求める情報の内容

(a)　採掘工事全体の内容

階層毎に必要な情報の内容

		JV				採土			発破	破砕		船積		桟橋管理	
	情　報　の　内　容	所長	課長	主任	係	所長	職長	ｵﾍﾟﾚｰﾀ	職長	職長	ｵﾍﾟﾚｰﾀ	職長	ｵﾍﾟﾚｰﾀ	職長	綱取り
採土	重機稼働状況（映像）	●	●			●									
	重機稼働状況（パソコン画面）			●	●		●								
	切羽別時間当り積込量（土軟硬別、ﾘｱﾙﾀｲﾑ）			●	●		●					●			
	運搬機械別サイクルタイム（ﾘｱﾙﾀｲﾑ）				●		●								
	ホッパ別投入量（土軟硬別、ﾘｱﾙﾀｲﾑ）				●										
	日当り掘削運搬量		●	●		●			●						
	土軟硬分布（弾性波探査）		●	●	●	●	●		●						
	時間当り積込量平面分布			●	●		●		●						
	重機稼働時間			●	●		●								
	重機燃料消費量		●		●	●	●								
発破	削孔速度平面分布				●				●						
	装薬量平面分布				●				●						
	振動測定結果平面分布	●		●					●						
	低周波振動測定結果平面分布	●	●	●					●						
破砕	クラッシャ稼働状況（映像）	●	●		●	●				●	●				
	クラッシャ負荷状況（パソコン画面）				●						●				
貯鉱	貯鉱状況（映像）	●	●	●	●	●	●			●	●	●			
ﾍﾞﾙﾄｺﾝﾍﾞｱ	振動ﾌｨｰﾀﾞ稼働状況（パソコン画面）			●	●							●	●		
	ﾍﾞﾙｺﾝ稼働状況（パソコン画面）	●	●			●				●	●	●	●		
船積み	現在積込土運船名				●								●		
	現在積ﾄﾝ数				●								●		
	船積レート			●	●							●	●		
	切替ロスタイム				●								●		
	船積開始時刻予実績		●	●	●						●		●		
	配船変更状況			●	●							●	●		
	船積ﾄﾝ数予実績				●								●		
	船積終了予想時刻		●		●		●			●		●	●	●	
	日当り出荷量	●	●									●			
土運船	着桟予想時刻			●	●							●		●	●
	桟橋着桟状況（映像）	●			●							●		●	
その他	埋立海域気象状況			●	●	●				●		●		●	

(b)　採掘工事の内　貯鉱量確認作業の内容

	行動および判断内容														
貯鉱量の確認	採掘計画の変更の必要性	●	●			●									
	翌日の切羽変更の必要性		●	●		●									
	発破作業の変更の必要性			●			●								
	土運船キャンセルの必要性			●						●					
	切羽変更の必要性			●			●								
	昼休み時の重機稼動の必要性				●		●			●					
	船積みレート変更の必要性				●							●			
	船積み予定の確認				●		●			●	●	●			
	時間当り積込運搬量の確認				●		●				●				
	クラッシャ稼動状況の確認				●						●				

(7)　得られた情報より判断するには、情報を加工する必要もある。

(8)　多くの情報をリアルタイムに入手し、加工し、判断し、その結果を得る。つまり、リアルタイムに情報のＰＤＣＡを回す事は困難であった。

以下に調査した関空１期時点での作業を示す。図3-34は、重機の故障時の対応をフローにしたものである。

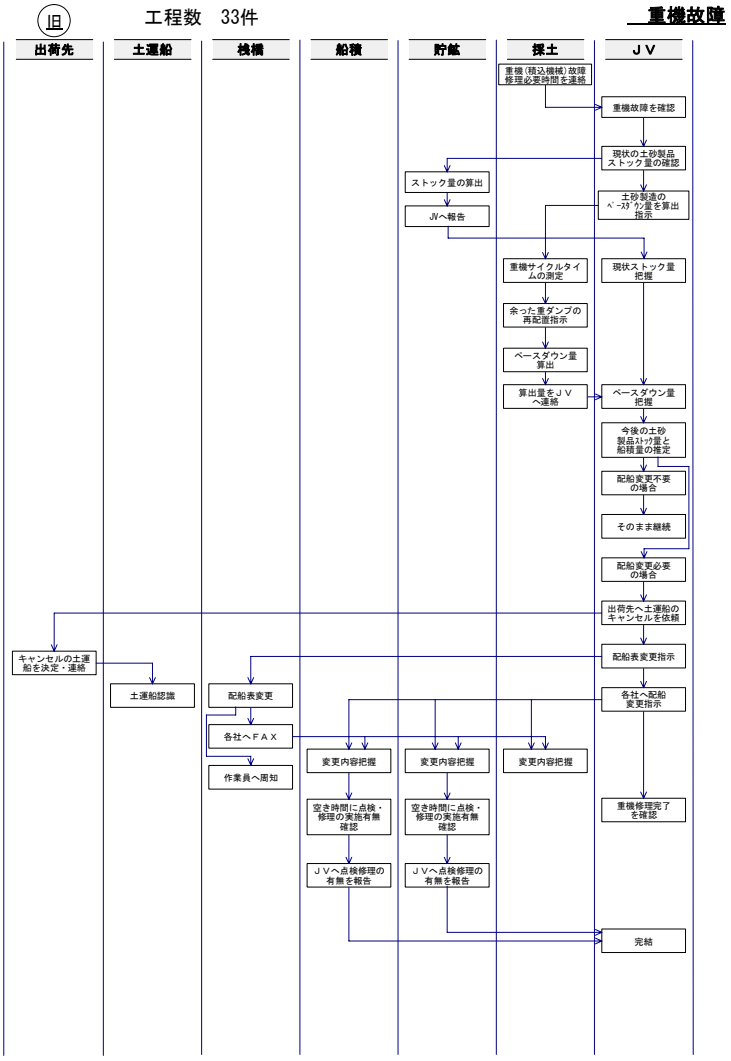


図3-34　重機の故障時の対応フロー

これまでの作業と同様情報の活用へは、「空間、時間、人」的な課題を有していることら、その解決への方向を示す。もう一つの適切な工事の運営計画の立案・運用も解決させ関空２期へ効率稼働を図ることにした。

３．５　高度情報化施工と施工支援システム

本項では、施工情報の有効利用による施工効率向上の方向性の提案について記述する。

３．５．１　高度情報化施工の導入

『高度情報化施工』については、２．４．１高度情報化施工の導入に記述した。本項目では観点を変えて、施工途上の不確定要因に着目し記述する。建設分野では、一般製造業と異なり、計画や設計段階で不確定要因が多いため、安全側の施工計画や設計が行われる。

一般製造業でもこの傾向がないわけではないが、建設、特に土木工事では、天候、地質、材料のバラツキを始め、計画や設計段階で確定的な設定を行うことができない要因が多いため、計画・設計段階では、比較的悪い条件でも施工が行えるだけの若干の余裕を持った計画を立て、また安全率を見込んだ設計を行う場合が多い。現場の条件が劣悪である場合、これらの施工計画や設計の余裕は活かされることになるが、現場の条件が良好である場合には、これらの余裕の多くは過剰な投資になる。この手法では、不確定要因を前提に計画や設計を行わざるを得ない建設工事において、実施工段階で情報技術を利用して得られた新たな情報に基づき、施工計画を適宜見直すことにより、必要以上のエネルギーや資材の投入を抑えることができる(図 3-35 参照)ため、コスト縮減と環境負荷低減を両立も可能となる。

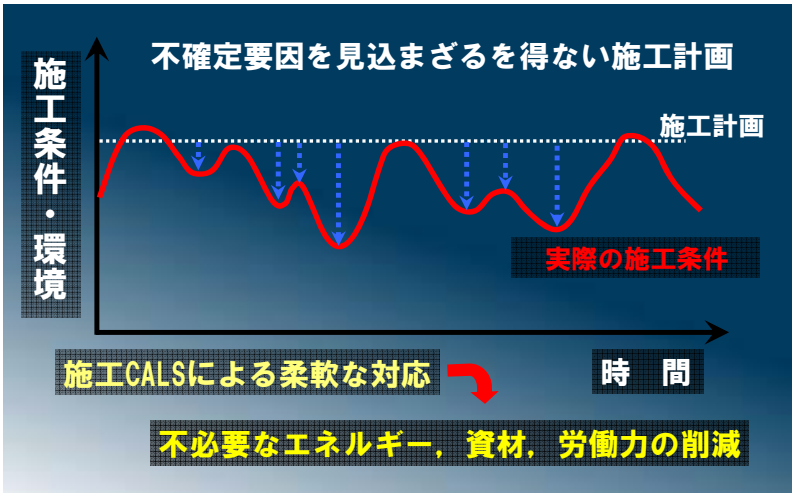


図 3-35　高度情報化施工での施工支援システムの役割

この手法は、情報技術を利用して現場を緻密に管理するという意味から高度情報化施工と表現した。不確定要因が多い土木分野では、この手法により、コスト縮減と環境負荷低減を両立させるだけの余裕があるケースが多いと考えられ、高度情報化施工の考え方は、様々な工事で適用が期待される。

３．５．２　高度情報化施工支援システムの開発

高度情報化施工をベースに開発した革新的な施工システムである施工 CALS は、従来の紙による情報伝達を基本とする施工プロセスを改革して、文書交換ばかりでなく施工に関わるすべての電子情報(計測データ等)を最大限に活用できる新しい情報活用技術であり、複雑で汎用性に乏しい 3 次元 CAD と空間や時間の取り扱いを受ける 2 次元 GIS の運用上の課題を克服し、両者の利点を活かして 3 次元 GIS を中核にして開発したものである。

３．５．２．１　施工情報活用への取り組み

高度情報化施工を導入し施工情報を活用する施工支援システムである施工 CALS の開発により、(1)～(5)が実現できることを示すことにした。

(1)　施工情報のデータベース化による階層管理手法と品質管理の改善により、作業工程の短縮とともに施工の品質を向上。

(2)　地山を 3 次元と捉えてデータ管理することによる歩留まり率の向上、掘削量の低減の効果。

(3) 出来形管理図面や帳票類について、現場と企業者間での情報共有を図り、施工管理に関わる事務所作業の大幅削減を実現。

(4)　施工時に取得できた情報を効率的に利用していくことの効用。

(5)　一連の施工計画・管理をすべてコンピュータ上で実施するという従来の施工方法の考え方を一新する試みの実現。

さらに、施工システムの体系化と汎用化を目的に施工情報を従来の 2 次元情報である図面情報に加えて、3 次元情報として取り扱われる地形データとの連携に努め、施工 CALS の中核になる施工情報管理プログラムを開発することにした。

３．５．２．２　従来施工の不具合

「適切な現場運営に合致した計画が立案されていない。」ことへの改善については、従来(関空１期)の仕組みより具体的な不具合を改善し、現実に適合する計画の立案と活用を観点に仕組みを構築を実施した。従来(関空１期時点)の課題としては、(1)～(3)が検討のフローからあげられた。

(1)　機械配置計画については、経験による配置を施工で確かめていた。

採掘場所の地山、走路、積込み条件などを把握した計画となっていなかった。

(2)　生産量の把握は、「サイクルタイム」を計測することであり、移動し、一部のダンプトラックのサイクルタイムをサンプル測定していた。時間・空間に加えて、そのデータはすぐ陳腐化し再測定が必要であり、継続測定が必要なことである。

(3)　船積み量の確保を確認は、「貯鉱場のストックの増減の監視」を行っていたが、同様であった。

多くの人々が、自らの業務を遂行するために移動し時間をかけ情報を入手し続け判断をしていた。これが関空 1 期の運営実態であり、その運営は船積み要求に応えることを主眼に運営されており、積極的に生産効率向上を図る運営ではなかった（図 3-29)。つまり、船積み要求に対する受動的な生産体制をとっており、生産量の増大・生産の効率化への取り組みの意識は低かった。

３．５．２．３　「一日の工事計画と運営フロー」の改善

(1)一日の工事計画運営フローの改善

関空２期出荷フローの検討では、関空１期出荷フローを改善し、管理項目・管理範囲を明確にし、最大限の生産を引き出すことを目標に再検討を実施した。効率的かつ最大の稼動と生産について、リアルタイムにデータを把握し、１日単位の目標の達成へ管理を明確にしつつ、作業フローを再構築した。図 3-36 に、関空 2 期目標達成へ再構築した作業の全体フローを示す。

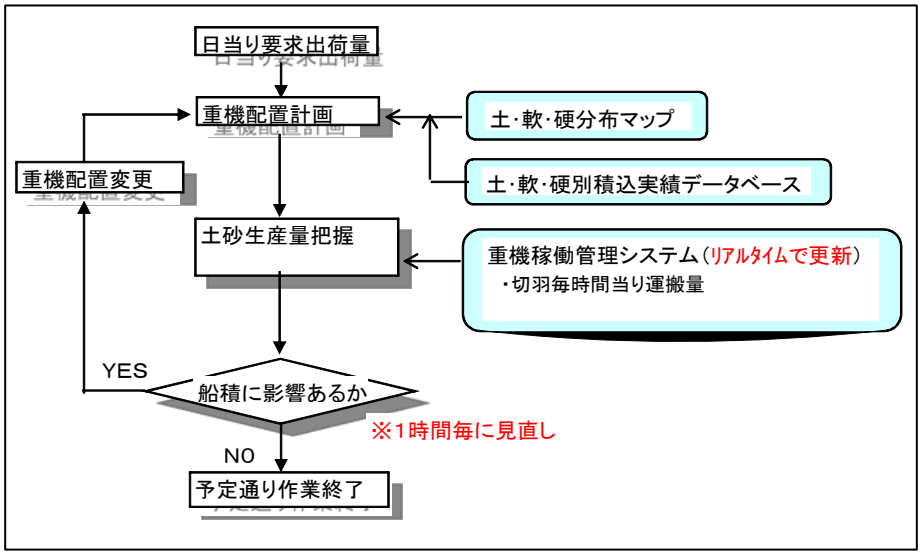


図3-36　関空２期改善作業フロー

これまでは経験的に行っていた重機配置作業を、関空2期計画では数値の裏づけを確認しつつ最適な重機配置検討が出来る仕組みを開発・構築した。その作業のフローは、図3-37の重機最適配置シミュレーションフローとした。

(2)　重機最適配置への改善

重機最適配置シミュレーションフローについて具体的には、以下の 1)～3)の手順となる。

1) 採掘場所を考慮した重機配置計画を

2) 重機配置シュミレーションシートに、1)のデータを挿入し

- 要求出荷量を満たしているか否か。
- 破砕機の破砕能力を超えていないか否か。

3) 当日の稼動中で、リアルタイム管理項目・日管理項目を満たして稼動していることを確認する。異常値となった場合は達成できる対策を実施し、それぞれの管理項目を確認する。

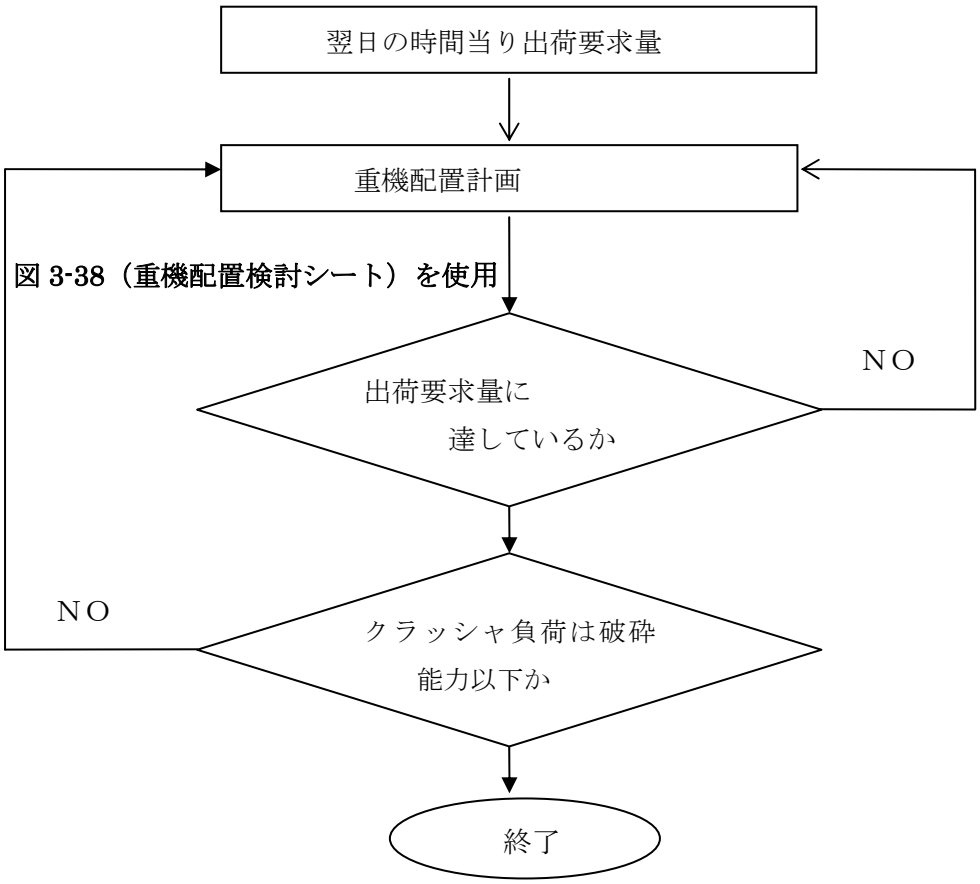
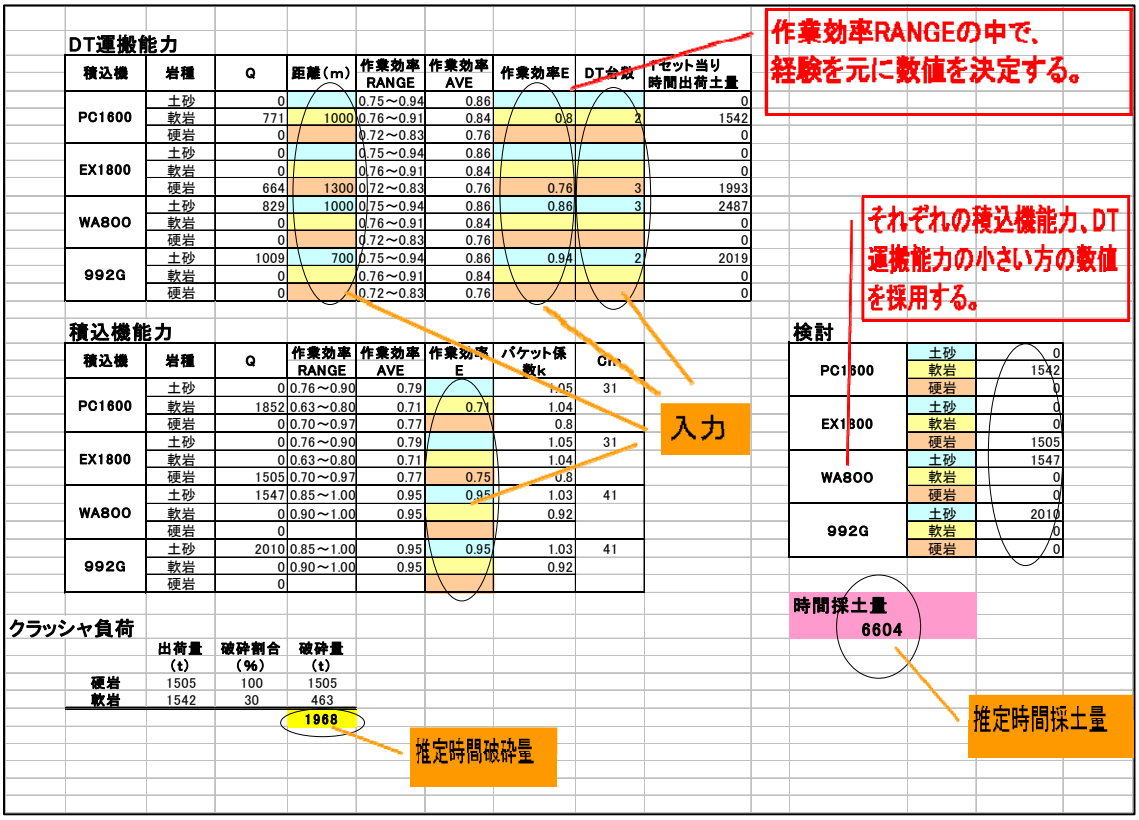


図3-37　　重機最適配置シュミレーションフロー

図 3-38 の重機配置シュミレーションシートの利用方法を説明すると、表内の「入力」部分にその日の予定重機入配置に合わせて数値（距離、ＤＴ台数、作業効率）を入力すると「推定時間採土量」が求まる仕組みになっている。その入力と結果を試行することにより、出荷予定量に合わせて積込・運搬機械の配置を決定することができる。また、クラッシャの時間当り最大破砕量である 2,520t を超えていないかも検討できる。試行ケースについての結果を簡単に得ることができることより、多くの選択枝よりの最適解を得ることが可能となる。採掘場所の入力例と結果について試行してみると、



DT運搬能力

積込機	岩種	Q	距離(m)	作業効率 RANGE	作業効率 AVE	作業効率E	DT台数	1セット当り 時間出荷土量
PC1600	土砂	0		0.75～0.94	0.86			0
	軟岩	771	1000	0.76～0.91	0.84	0.8	2	1542
	硬岩	0		0.72～0.83	0.76			0
EX1800	土砂	0		0.75～0.94	0.86			0
	軟岩	0		0.76～0.91	0.84			0
	硬岩	664	1300	0.72～0.83	0.76	0.76	3	1993
WA800	土砂	829	1000	0.75～0.94	0.86	0.86	3	2487
	軟岩	0		0.76～0.91	0.84			0
	硬岩	0		0.72～0.83	0.76			0
992G	土砂	1009	700	0.75～0.94	0.86	0.94	2	2019
	軟岩	0		0.76～0.91	0.84			0
	硬岩	0		0.72～0.83	0.76			0

積込機能力

積込機	岩種	Q	作業効率 RANGE	作業効率 AVE	作業効率 E	バケット係数k	Cm
PC1600	土砂	0	0.76～0.90	0.79		1.05	31
	軟岩	1852	0.63～0.80	0.71	0.71	1.04	
	硬岩	0	0.70～0.97	0.77		0.8	
EX1800	土砂	0	0.76～0.90	0.79		1.05	31
	軟岩	0	0.63～0.80	0.71		1.04	
	硬岩	1505	0.70～0.97	0.77	0.75	0.8	
WA800	土砂	1547	0.85～1.00	0.95	0.95	1.03	41
	軟岩	0	0.90～1.00	0.95		0.92	
	硬岩	0					
992G	土砂	2010	0.85～1.00	0.95	0.95	1.03	41
	軟岩	0	0.90～1.00	0.95		0.92	
	硬岩	0					

クラッシャ負荷

	出荷量 (t)	破砕割合 (%)	破砕量 (t)
硬岩	1505	100	1505
軟岩	1542	30	463
			1968

検討

PC1600	土砂	0
	軟岩	1542
	硬岩	0
EX1800	土砂	0
	軟岩	0
	硬岩	1505
WA800	土砂	1547
	軟岩	0
	硬岩	0
992G	土砂	2010
	軟岩	0
	硬岩	0

時間採土量
6604

図3-38　　重機配置シミュレーションシート

（検討例）

1.　入力条件

出荷要求量 72,000 t の場合の必要な時間当たりの採土量は、6,550 t / h（72,000÷11h）となる。

2.　入力

採掘場所より投入口までの距離、ＤＴ台数、を作業効率入力すると、

3.　出力結果

積込み機械 4 台とダンプ 10 台で可能との結果となる。（図 3-38 参照）

３．５．２．４　全体採掘計画

計画の不十分さを短期間の採掘計画で検証した。設備能力を最大限に発揮させながらの採掘は、短期間の採掘より長期間大量の検討のほうが困難である。短期計画と同様に、データベースを活用して、破砕設備能力 2,540t/時間と運搬設備能力 6,800 t /時間の稼働のロスを排除し稼働時間 12 時間の中で、最大能力を発揮しつつ、採土地の採掘を計画し実施することが最大の課題である。

３．５．３　施工情報の有効利用による生産性(施工効率)の向上

３．５．３．１　施工情報の有効利用

大規模現場では、「長期間・大量・安定しての供給」のために「広範囲に配置された多くの工事参画者の協働」を実現させることである。その限界、つまり長期間、時間と空間を超えての協働が限界を超えるカギであった。施工段階で、工事参画者の協働により、刻々と変化する施工状況に柔軟に対応し、適切な判断を下し最適な施工の実現には、各種の施工情報が必要な時期に入手をし、活用する必要がある。具体的には、表 3-10 に示す、空間・時間と人的要素への課題を解決を図るために、(1)～(3)の観点より施工情報の活用の仕組みを構築することにした。

(1)　時間的な要素については、それぞれの担当業務で必要な時期に提供する。

具体的には、リアルタイム化で達成させることにした。

生産量の土砂・軟岩・硬岩別の継続計測と提供、サイクルタイムについては各ダンプトラック別の継続測定と提供などである。

(2)　空間的な要素の解決に対しては、必要な情報をそれぞれの作業に従事している事務所へ提供することにした。

具体的には、通信手段の改善、必要な映像情報と時間当たりの生産(投入、貯鉱、船積み)量の提供などの必要な情報に加工し提供することにした。

(3)　人間的要素に対しては、工事参画者の作業の「ムリ・ムダ・ムラ」を省くなど最適化の観点で改善構築した。

具体的には、情報の入手に人手を煩わさない、移動に費やす時間の減少と必要な情報に加工して提供するなどであり、重機の作業日報を IC カードより自動作成させる、時間積込み・運搬・投入量の提供などである。多くの関係者が広範囲に配置された現場で、施工などそれぞれの段階の多くの情報を伝達し、それぞれが共有し、それぞれの工程での適切な判断と、全体としての最適な結果を得る事を目的に、仕組みを構築することにした。

３．５．３．２　施工情報活用による採土工事全体の作業効率化

施工情報を活用して採掘工事の効率化を図るための工事運営フロー(図3-39)を以下に示す。時間的にリアルタイム管理する部分は、中央部の破線で囲まれた部分であり採掘の重機の稼働データと破砕設備の稼働データである。その異常については、重機配置の見直しにより採掘量と破砕量を調節することを示している。一日の計画を管理する部分は、実線で囲まれた部分であり上部より発破工の管理、その下が要求量に対する前日の重機配置計画を示している。それぞれの不具合は、１日単位で翌日あるいは後日に同箇所近傍の施工時に反映させることになることを示している。本工事フローを実現させることにより効率化を図ることにした。

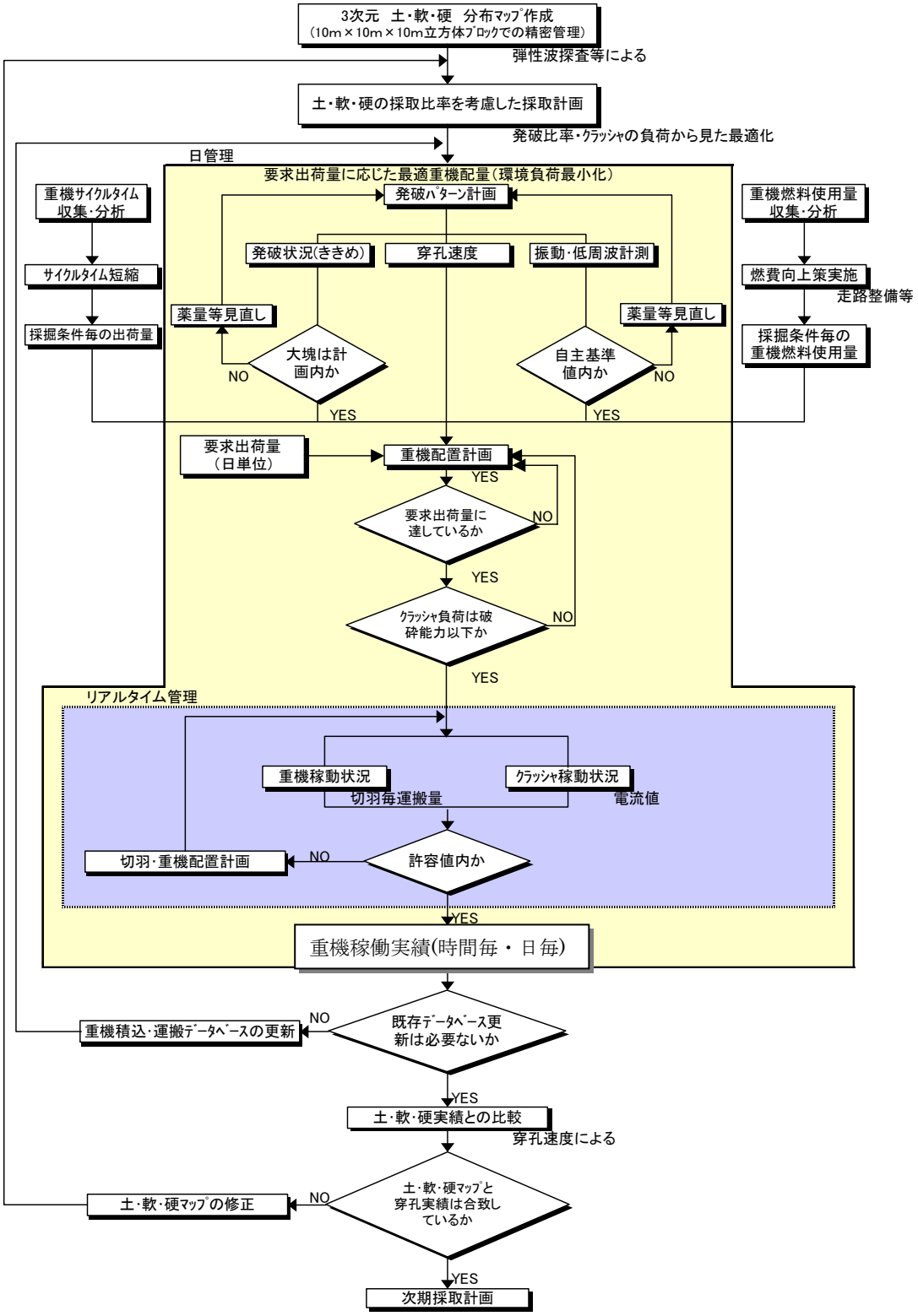


図 3-39　関空２期工事目標達成への採土全体作業フロー

３．６　施工 CALS の開発と適用

施工CALSの構築は、施工情報の有効に活用し、施工効率向上を図るために、「施工サイト全体が協働できる仕組み」と「刻々と変化する現場状況に応じ柔軟に対応できる施工技術の確立」の二点より仕組みを再構築することにした。それぞれについて具体的には、煩雑な施工プロセスと多くの関係者に情報を、「必要な時に」「必要な情報に加工し」「配置された場所に」提供する事により、刻々と変化する施工状況に柔軟に対応することにより、施工サイト全体の協働が図れる。そして、施工状況をリアルタイムで把握し固有を有した技術者の判断により柔軟に対応し全体最適を図ることが可能であることを示すものである。

３．６．１　刻々と変化する現場状況に応じ柔軟な対応ができる施工技術の確立

関空 2 期造成工事では、多くの埋め立て材料供給地より大量の埋め立て材の搬入を受けつつ造成工事が実施される。そのため、施工状況は刻々と変化しその資材要求量・船舶数なども変化する。当然ながら、採掘地内でも機械設備の故障、気候海象なども変化する。このような変化へ情報の高度利用により刻々と変化する現場の状況に追随し、施工の最適化を図ることが求められる。刻々と変化する施工情報を入手し、最適化へ技術者の適切な判断が可能とすること。そして、その実施を判断した対策の有効性をリアルタイムに検証できる柔軟な施工システムが必要である。本内容は、国土交通省の建設 CALS のフェーズ３の次世代の施工段階の実現であることより施工 CALS と名づけた。

３．６．２　詳細な施工情報の収集システムの構築

(1)　必要な情報とは

海象条件、船舶、船積み設備、貯鉱量、破砕能力と負荷、投入量、ダンプサイクルタイム、積み込み量、採掘場所の固さなど情報の現在と今後の予測を技術者が把握できること。そして、発生した問題に対し固有技術を有する技術者が判断し、対策を実施する。実施された対策の有効性をプロセスにて判断できること。

(2)　必要な時とは

リアルタイム化と同義であるが、入手情報をもとにその施工プロセスにて判断できることが大切である。情報を入手し改善へ判断できるタイミングが必要な時であり、工程によっては、一瞬から数秒であったり、数時間、数日などそれ以上の余裕がある事もある。

(3)　必要な場所とは

適用工事では、必要な広いサイトに点在する事務所への情報提供を行うことにした。情報提供する範囲、場所の選定が広いサイトで従事する技術者、技能者へ情報を提供する場合であるか、狭いエリアであるか、或いはその提供する場所の情報環境により、利用できる情報ツールは異なる。これにより利用方法、コスト等から利便性などへの影響は大きく、最近の情報の発展により採用が可能なツールの選択自由度は高まりつつあるが、その条件により制約条件は決まる。必要な場所に情報を提供し、関係する技術者の情報の発信と受

信が容易に行えることが大切である。判断するために情報を入手・確認する、判断した情報を発信する、その結果を受信する。つまり、情報の共有と双方向化が実現しそれぞれ参画者が容易に受発信することが協働の要となる。

３．６．３　状況変化へ柔軟に対応し合理化を図る仕組み

情報を活用し、工事運営の合理化へ固有技術を有する技術者が適切な判断をし、その判断した結果を把握できる仕組みが状況の変化へ柔軟に対応を可能とする。工事のプロセスの合理化を図ろうとする技術概念であり、単に情報化施工技術を組み合わせただけでは具現化することはできない。情報の活用、情報の共有と双方向化が実現しそれぞれ参画者が容易に受発信可能な環境がポイントでありその実現を図ることにした。

具体的には、(1)(2)の実現である。

(1) 目標出荷量の変更など変動する工事環境へ柔軟かつ最適な対応が可能であること。

(2) 工事の種々な要素より選択した出荷量など目的関数に対し、最適化を図ることが可能であること。

つまり、所定出荷量に対し、重機の配置・稼動と最小火薬使用量の最適化を図ったが、工事の他の要素の品質・安全・工程・労務条件・環境等の要素より、必要に応じて選択すれば最適化が可能である事を示している。この 2 点は、施工に携わる技術者として非常に魅力的であり解決へのツールとして実現へ力を注いだ。

３．６．４　作業従事者の手を煩わせずに情報を入手する仕組み

施工情報の活用への課題を解決により(1)～(4)を実現する工事運営により、必要な情報による判断に費やす時間が増加し、より高度な工事管理に繋がることになり、その求められるコンセプトは以下の(1)～(4)とした。情報の入手については、

(1)　施工従事者の手を極力煩わせずに

(2)　求める情報を

(3)　求めるタイミング(リアルタイム)に

(4)　それぞれが求める場所で

ユーザーフレンドリーなシステムとして立ち上げ、施工情報の活用し、すなわち、工事従事者の情報の共有と双方向化により、適用工事での工事従事者の協働と空間・時間を超えての施工効率の向上を図り、環境負荷の低減とコスト縮減が実現することを示す。

３．６．５　通信手段の改善

個別技術レベルの課題として、通信事情の悪い、広範な現場と散在する事務所を結ぶツールを検討し、その連絡網のプラットホームを構築することが求められた。最新の通信の技術レベルを調査し実現へ検討し、通信技術の革新と進歩は、関空１期では考えられなかった光ケーブルなどを選択範囲に加えてくれた(図 3-40)。

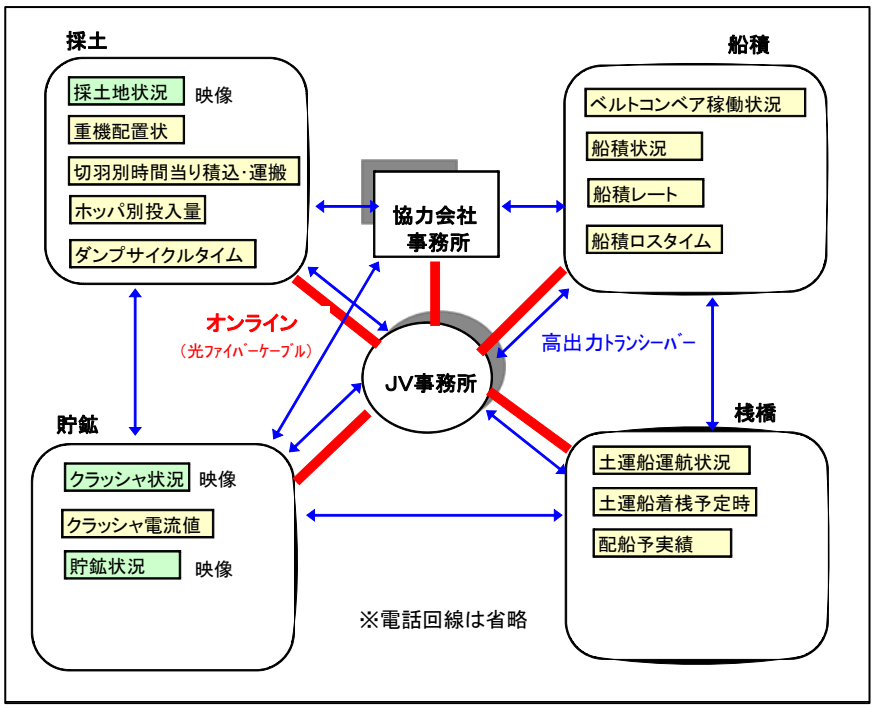


図 3-40　適用工事の高速ネットワーク通信網

第４章　施工CALSの開発

４．１　システム開発のコンセプト

採土から運搬、積込みまでの一連の工程の中で、いずれかの工程で作業遅延が生じると、すべての工程に影響を与え、予定されている土砂の出荷停止を余儀なくされる。このことをシステム開発面よりみると、統合化システムに求められている機能は次のようにまとめることができる。すなわち、予定される出荷量や重機・設備の作業能力等の制約条件の下で，様々な施工情報に基づいて、工程毎あるいは工程間における作業能力と作業時間に関する最適化問題を解決することに帰着される。以上のことから、システム開発にあたっては施工情報活用上の課題(pp65 表 3-11)から時間的、空間的と人的な要素を排除し、建設工事の各工程において情報化を推進し、現場管理における技術者の意志決定を効果的に支援できるような機能を具備することを主なるコンセプトとした。具体的には、各工程において、施工に関わる情報（以下，施工情報）を効率的に収集して，複数の工程間で情報を共有し、しかも、その情報を効果的に運用管理し、かつ、その分析結果を即座に施工にフィードバックできる機能を有することにした。また、施工情報の収集に際しては、施工従事者の手を極力煩わせることなく、情報の共有、利用に際しては、求める情報を、求めるタイミング（リアルタイム）に、それぞれが求める場所で利用できる、いわゆるユーザーフレンドリーなシステムとして構築することを目指した。

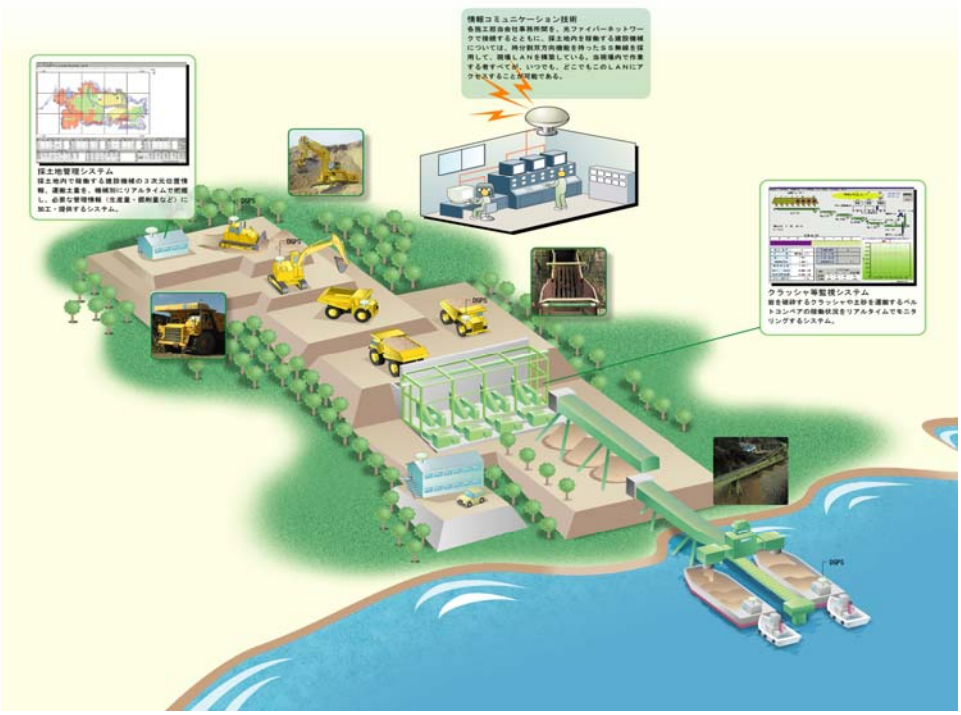


図4-1　システムの全体配置図

本システムは、施工の効率的な推進のために「技術者の判断を支援する機能」を有するシステムであって、例えば、施工情報を分析して自動的に施工指示内を発信するような人工知能型システムではないことも特徴の１つである。

４．２　システムの構成

４．２．１　施工 CALS の全体像

前記のコンセプトを模式化したものが図 4-1 であり、採土地のシステム(図 4-2)は、以下の様な機能を有している。

機能（１）　ＧＩＳを利用した情報管理

地盤情報や重機情報等を、ネットワークを利用してリアルタイムに情報ユニットに格納し、情報を精密に管理する技術

機能（２）３次元マッピング

現場で稼働する重機の情報や、材料別に区分された地盤情報をもとにリアルタイムに生産量を把握する技術

機能（３）意志決定支援

施工過程で変化する施工条件に対応して、施工管理者の判断に必要な加工情報を提供することにより、重機配置や移動パターン、火薬の最小利用等の最適化を支援する技術

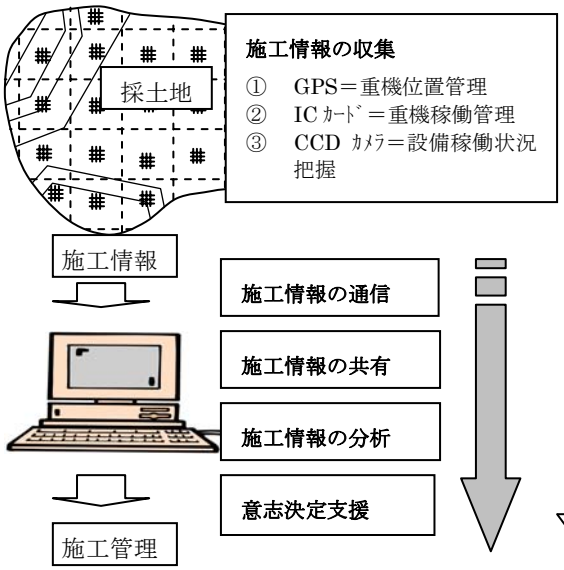


図4-2　システムの全体像

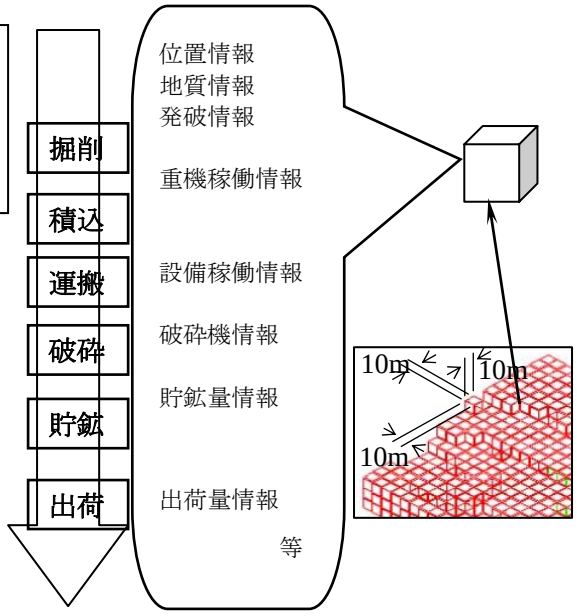


図4-3 情報ユニットの概念と内部情報

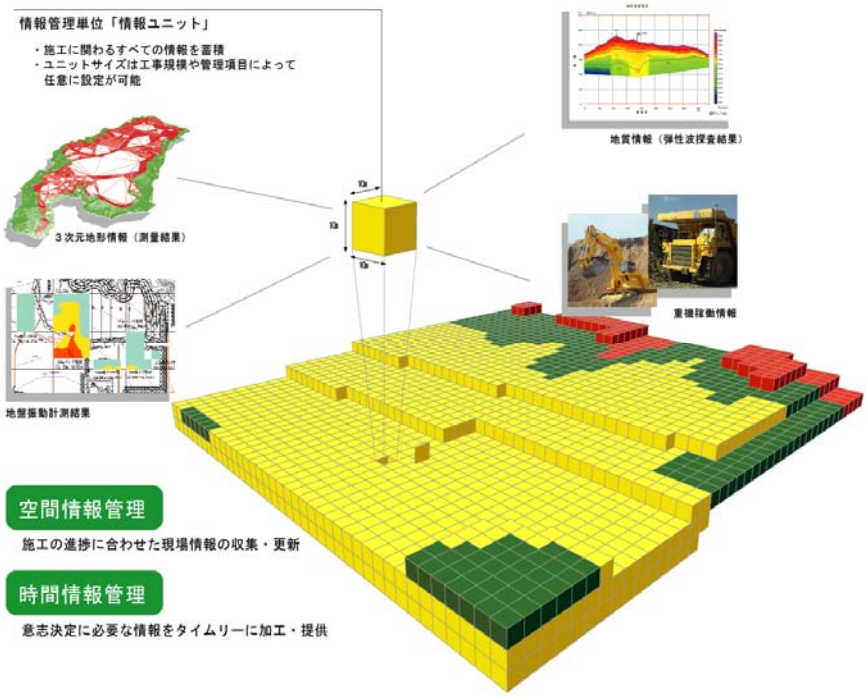


図 4-4　情報ユニットと情報管理

また、複数の工程間に連携を持たせ、調和型の統合化システムを構築することを目的にして、図 4-3、図 4-4 に示す 10m 立方のサイコロ型の情報ユニットを設定した。そして、このユニットの中に、施工情報を工程毎に記録していく方式として、全工程に関する施工情報のデータベース化を進めた。このことは、情報収集という最上流の工程から、技術者の意志決定支援といった最下流の工程までを、このユニットが連続的にネットワーク上を流れ下りて行くことを想像すると考えやすい。この考え方には、各工程で取得できる施工情報が明確になることやそのデータの記録過程が施工の工程に対応しているため，現場技術者にとって情報発信源の特定が容易になるといったメリットがある。例えば、最下流の工程で問題点を発見した場合、各工程を逆上りながら、このユニットに記録された情報を基に原因解明を行うことも容易になる。このように統合化システムを構築するにあたり、システム間の連携を実現するために、ハード的なシステム間のリンクを張ることをせずに、情報ユニットの授受というソフト的な対策を講じているところに本システムの大きな特徴を見出すことができる。

４．２．２　施工 CALS の全体構成

施工 CALS の施工管理システムのうち、ソフトウェア部分の全体構成は、前述した３つの機能を満足するため、施工情報収集サブシステム、施工情報管理

サブシステム、施工情報分析サブシステムの３つのサブシステム（図 4-5）が整備されており、次節以降にこれらのサブシステムを構成する主なシステムの概要を説明する。

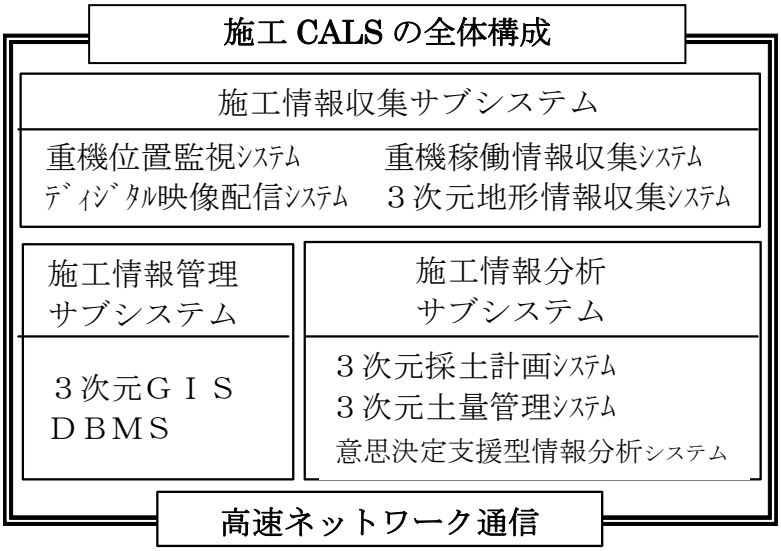


図 4-5　システムの全体構成

ハードウェアの構成を図 4-6、図 4-7 に示す。本システム開発の対象現場である採土工事以外へのシステム展開を考慮して、汎用電子機器の利用に努めている。情報収集機能については、重機側には、位置計測のための GPS、積載情報を取得するペイロードメータ、これらの情報を通信する無線装置、重機稼働内容を記録する IC カード等が搭載されている。また、約３km 離れた採土場と現場事務所間は高速大容量通信を可能とする光ファイバー網で接続し（図 4-7)、採土場内での情報通信には、スペクトラム拡散機能及び時分割制御機能を有する双方向無線通信システムを用いた。このようにして取得された施工情報は，現場事務所に設置されたメインサーバーに一旦蓄積され、現場技術者の意思決定支援のための情報に加工されるとともに、施工管理に必要なデータはディスプレイ上にリアルタイムで表示される。同時に、取得した情報は日常の施工管理のための帳票類に加工したり、将来の施工計画立案のための基礎データとしても利用される。

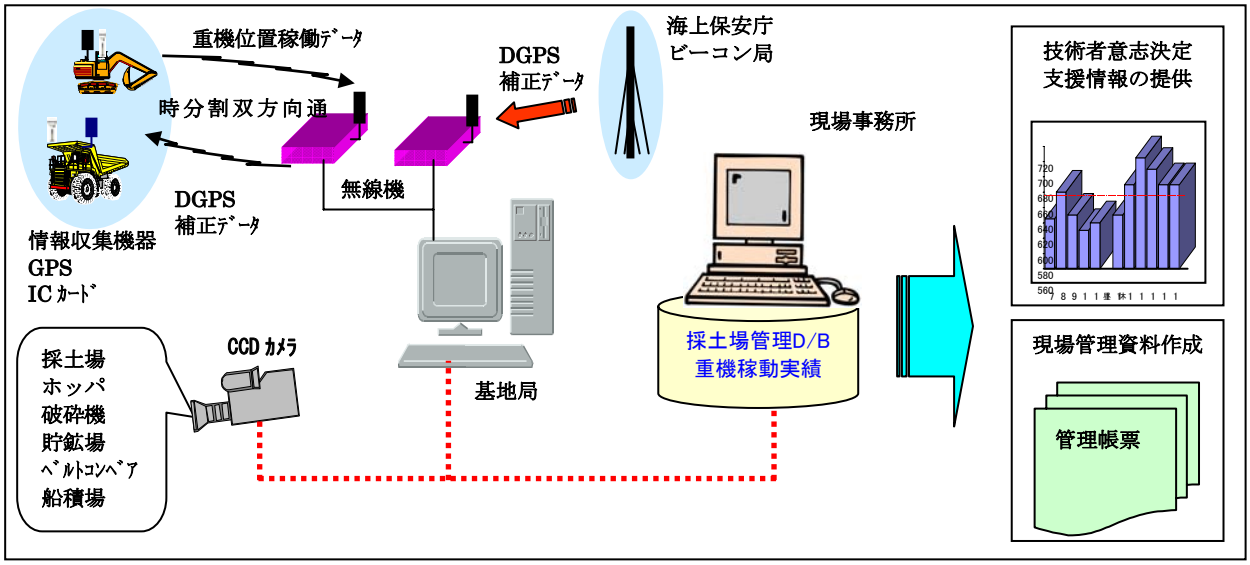


図 4-6　ハードウェアの採土地部分の構成 [15)]

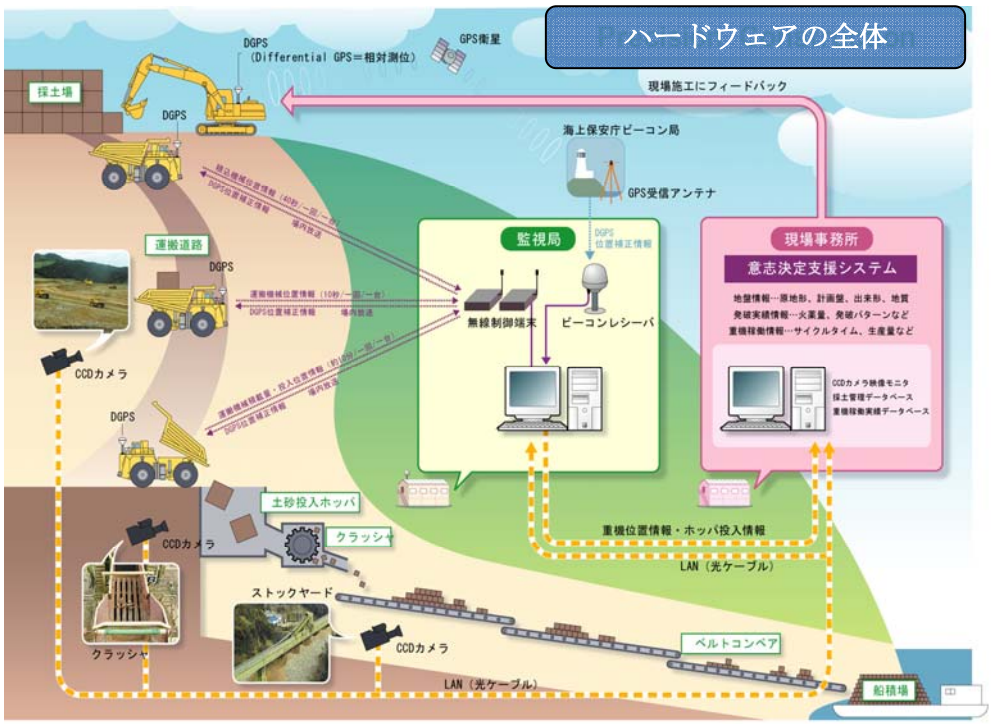


図 4-7　ハードウェアの全体構成

４．２．３　施工 CALS の機能

採土地の材料採取管理において、設計における地質情報と実際の地質分布が必ずしも一致しないため、設計の採掘量を確保できない場合が多くあり、その度に掘削計画の見直しを行うといったことが効率的な施工を進める上での問題点となっている。また、計画的に

土砂を採掘するためには、地質条件を考慮した上で、採土位置や機械配置等を計画する必要がある。しかし、現実には、施工現場では、実績把握から計画変更までの時間的遅れが施工ロスにつながり、採掘量増大の阻害を招いている。３次元 GIS を用いた高度情報化施工支援システムは、上記の問題点をクリアにするために開発されたものであり、施工現場で得られる出来形情報や地質情報をリアルタイムにフィードバックし、データ取得時点での材料把握を行うと当時に、新たな掘削計画のための判断材料として活用することを可能とするシステムである。情報を活用するには、施工情報の収集・共有・管理・分析・フィードバックが効果的に行える機能が重要となる。そこで、施工 CALS にシステムとして求められる機能を次の(1)～(3)の３つの機能に整理した。

(1)マッピング機能を有し、採土地の地質構造や重機の稼動実績を３次元 GIS 上で展開でき、採土地で稼働する重機の稼働情報や,材質別に区分された地盤情報を基にリアルタイムで生産量を把握できる機能(データベース機能)

(2)ネットワーク利用による施工情報のリアルタイム取得更新が可能な情報管理システムであり、地盤情報や重機情報等を,ネットワークを利用してリアルタイムに情報ユニットに格納し,それらの情報を一元的に系統立てて管理する機能(ネットワーク機能)

(3)刻々と変化する現場の状況にリアルタイムで対応できる技術者支援機能で、重機配置や稼動パターン・火薬の最少利用などの最適化へ技術者の判断を支援する機能(施工技術者の意思決定支援機能)

GIS(Geographic Information System)とは、地図等で表現されている地理情報や、航空写真・衛星画像といったディジタル情報を同一の座標軸で管理すると当時に、任意の命題に対していくつかの数理分析を行って、その結果を面的に表現するシステムである。最近、官公庁で利用されるケースが増えてきているが、これは GIS の機能である分析機能を使用せずに、主にマッピング機能とデータ管理検索機能を利用したものである。　例えば、管内地図をディジタル情報として共有化し、その上で下水道データ、不動産データなどを管理するものである。整備したデータを必要な情報に加工・分析して、地域計画等に効果的に利用している例は少ない。ここに挙げた例は２次元の世界で議論されているが、本システムは標高方向についてのデータも組み込むことにより３次元的に GIS を取り扱った事例である。

４．２．４　構成するサブシステム

４．２．４．１　施工情報収集サブシステム

（１）　３次元地形情報収集システム

①地形情報など基準のデータの３次元化

本システムを運用するにあたっての基本情報は、ＧＰＳ等で得られた最新の３次元地表

地形データと、弾性波探査や地表踏査、ボーリングデータを加工して得られた３次元地質データである。地質データは各層序を正確に把握して、地質境界を認識しておく必要がある。その地質境界をイメージ的に示したのが図 4-8 である。

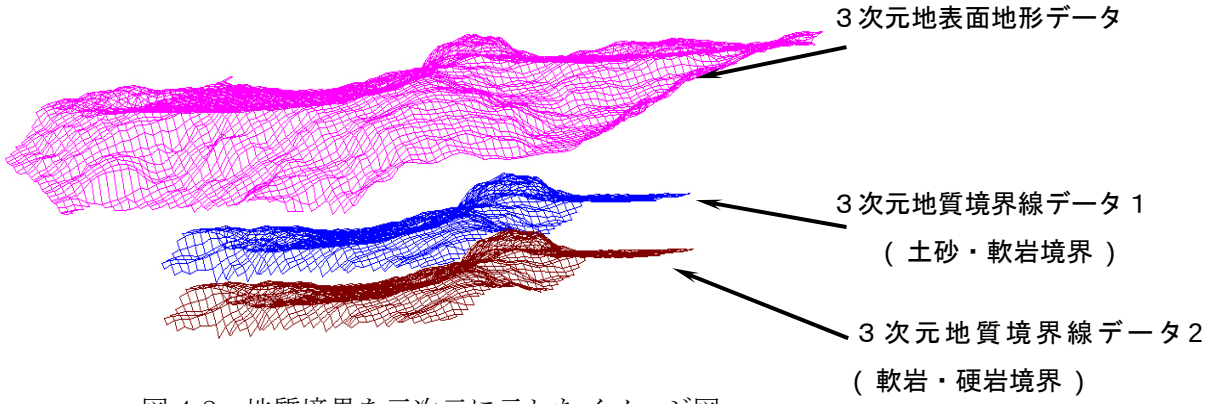
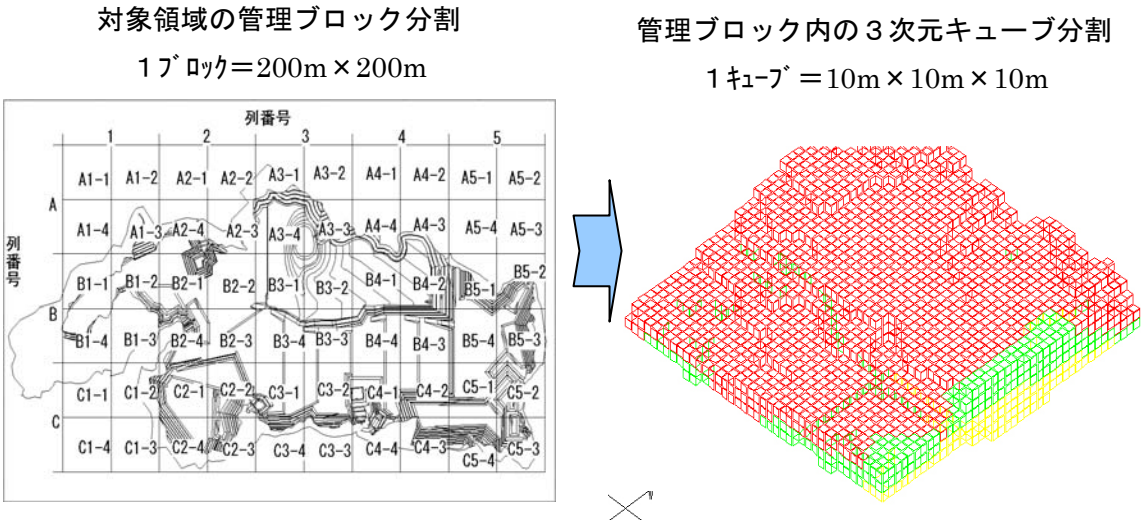


図 4-8　地質境界を三次元に示したイメージ図

② 施工情報の精密管理

従来の管理は、施工エリアを平面的に適当な大きさに分割し管理していた。土量の算定は断面図間隔 200m程度(図 4-9(a))で管理していた。本システムでは、その範囲をさらに３次元的にモデル化し、10m×10m×10mのキューブを最小施工管理単位(ユニット)としている(図 4-9(b))。この立方体に施工対象情報を関連付けすることで情報ユニット(10m×10m×10mのキューブ)を作成する。



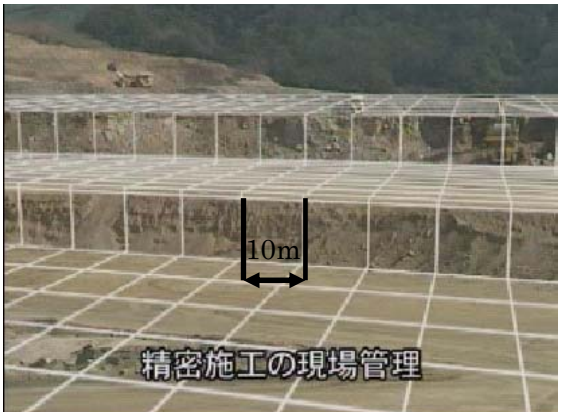
(a)　管理ブロック割図　　(b)　管理ブロックの三次元モデル

図 4-9　管理ブロック割図とモデル化

ここで、区画寸法を 10mとしたのは、積込機械の約１時間あたりの作業量が 1,000 地山

m³であることや、ベンチ発破のための孔の深さが 7～10mであること、及び 4.5m の穿孔間隔であることなどの理由による。以下にモデル化をし、採掘場をキューブの集合体として捕らえたものについて２例を提示する。図 4-9 は、200m×200m の管理区域を最小寸法である 10m×10m×10m のキューブで充足し管理することを示している。また、図 4-10(a)と図 4-10(b)については、従来施工と本システムによる施工管理の差を情報の管理単位の配置の差異により示している。

(a)　従来施工の情報管理断面



(b)　３次元 GIS による情報管理断面

図 4-10　従来施工と施工 CALS の情報管理断面の比較

以上の様に、採掘場の可採の土量を岩種別に視覚的に表示することができる。そして、キューブ単位で管理しつつ採掘工を施工することにより、図 4-11 の造成工事の仕上げ形状の完成となる。

図 4-11　採掘地の完成地形（３次元の鳥瞰形状）

(2)　重機稼動情報収集システム

重機の稼動情報を収集し、重機の最適配置などの分析に反映するための情報を得るとともに、この情報を労務管理・安全管理に利用することを目的としている。以下、図 4-12 を参照しつつ、IC カードを介した重機稼動情報の収集の手順について説明する。まず、重機（積込機械、運搬機械）に搭載されたＩＣカード書込装置１２(図 4-13)に IC カードを差し込む。次に、IC カード書込装置１２(図 4-13)のタッチパネルから所定の入力操作を行い（Ｓ２１１）、作業の開始・終了時間、その他重機の稼動に関する情報がＩＣカードに記録される（Ｓ２１２）。続いて当日の施工が終了した後に、現場事務所に設置された IC カード読取装置２９に IC カードを差し込む。次に、IC カード読取装置２９のタッチパネルから所定の入力操作を行って、IC カードに記録された重機基本データを当該装置に読み取らせる（Ｓ２１３）。このとき IC カード読取装置２９は、読み取った重機基本データを所定のメモリに格納する。適宜なタイミングで、重機稼動監視サーバー２２は、IC カード読取装置２９のメモリに格納された重機基本データを読み出して、重機稼動実績データベースに登録する（Ｓ２１４）。また、必要であれば、重機日報又は労務日報を作成し、プリンタ２７から印刷出力する（Ｓ２１５）。

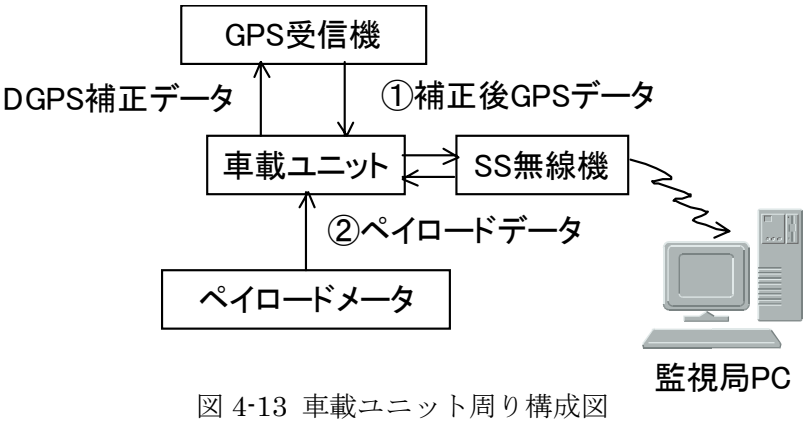


図 4-13 車載ユニット周り構成図

写真 4-1　SS 無線機と GPS 受信機

写真 4-2 車載ユニットと IC カード

(3)　重機位置監視システム

a.重機位置情報の収集

採土場で稼動する重機の位置を把握するために、無線技術によってリアルタイムにこれらの位置情報を収集しでいる。以下、図 4-12 を参照しつつ情報収集の手順を説明する。まず、重機（積込機械、運搬機械）に搭載された無線端末１１のＧＰＳアンテナにより複数の衛星から位置データを収集する（Ｓ２０１）　。次に、無線端末１１が、基地局に設置された無線制御コントローラから送信される DGPS 補正データをＳＳ無線機（移動局）により受信する（S２０２）次に、これら位置データと補正データにより高精度な位置演算を実行し、現在位置を求めて重機位置データを得る（Ｓ２０３）。次に、基地局の無線制御コントローラ１５からデータ送信要求があった場合（Ｓ２０４）、無線端末１１は、上記重機位置データを時刻データとともに無線制御コントローラ１５向けて送信する（Ｓ２０５）。次に､基地局の無線制御コントローラ１５は、重機の無線端末１１からのデータを受信し（S２０６）、所定のメモリに格納する（Ｓ２０７）。

写真 4-3　マスター-1 局

写真 4-4 マスター-1 局　全景

写真 4-5 マスター-2 局

写真 4-6　仮設ビーコン局

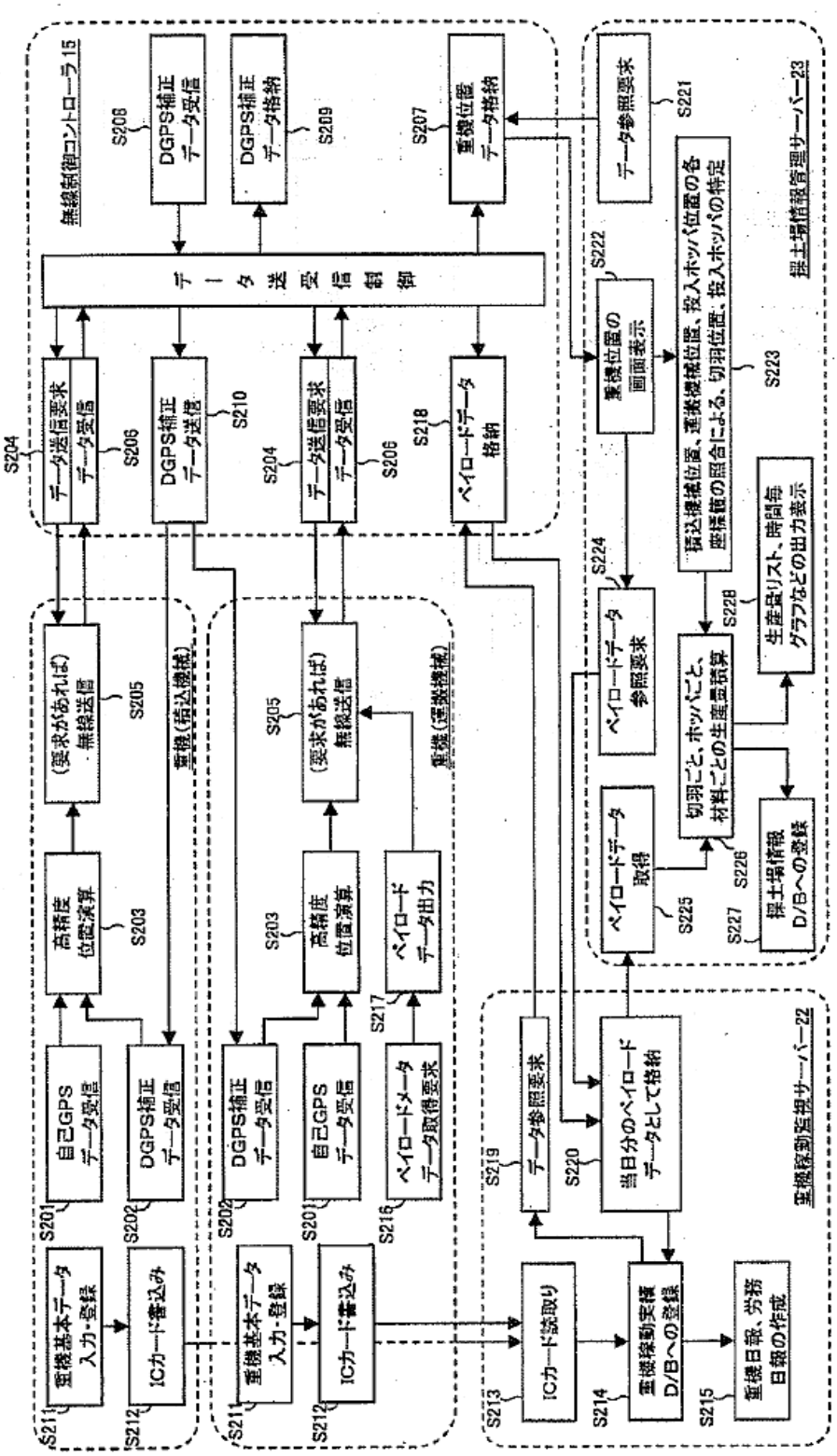


図 4-12　システムの処理手順を概略的に示すフローチャート

(4)　ディジタル映像配信システム

採土場における工事の進捗状況、土砂投入ホッパへの投入状況(図 4-15)、岩を砕くクラッシャーの破砕状況(図 4-16)、ストックヤードの状況、土砂を運ぶベルトコンベアの運搬状況、及び船積場の状況が、現場全域に設置されたＩＴＶカメラ１９によってリアルタイムに撮影され（Ｓ３０６）、光通信回線２１を介しで現場事務所の生産状況監視モニタ２　５に表示される（Ｓ３０７）。ここで、生産状況監視モニタ２５ に表示される両面について概説する。メイン画面には、振動フィーダーから投入された土砂が複数の搬送用ベルトコンベアに載って搬送される様子が表示される(図 4-16)とともに、積載量が横棒グラフで表示され、作業船運航管理用の画面(図 4-17)も表示される。これにより、投入する岩種比率の確認(図 4-15)を行う判断材料としての利用が可能である。また、作業船の巡航状況と併せて管理することで、土砂供給の安定化を図ることができる。

①　高速ネットワーク通信の視点

以上はシステム図よりの説明であるが、高速ネットワーク通信の観点より特徴を示すと、次の(1)から(3)に整理される。

(1)　光ケーブルを用いることでカメラ映像等の大容量データがリアルタイムで入手が可能となる。

(2)　工事事務所内で広大な現場の集中管理が可能となる。

(3)　各種データを電子化・共有化することで、業務の効率化が可能となる。

広大な現場において、効率化施工すなわち工期短縮を実現するためには、現場全体の状況をできるだけ迅速に把握し、かつ管理することが必要不可欠である。しかし、現場が広大であればあるほど、また、工種が多ければ多い程、施工管理の正確さが欠如することになる。そこでこれらの問題を解決すべく開発したシステムが「統合型採土地施工管理システム」である。通信インフラストラクチュア（＝情報伝達手段）に光ケーブルを用いることで、大容量かつリアルタイムでの情報伝送が可能となり、工事事務所に居ながらにして、広大な現場の情報入手が可能(図 4-14)となる。パソコンを用いて設備の制御信号を受信・処理することにより、工事事務所内で設備の稼動状況等のモニタリングが可能となる。工事現場の必要な場所に監視カメラを設置し、現場のカメラ映像や全設備の稼動状況がリアルタイムで把握できることで、現場全体をリアルタイムかつ正確に管理できるとともに、トラブルの発見も容易であり、その対応も迅速に行うことができる。光ケーブルを用いることにより、１種類の映像だけでなく数種類の映像を同時に伝送できるため、現場全体に数台のカメラを設置し工事事務所内で全ての映像をモニタリングすることも可能である。この光ケーブルを活用することで「現場内ネットワーク」の構築が可能となり、現場で各種発生するデータを電子化することにより、各工事事務所間でのデータ等のやりとりを電子化でき、ペーパレス化にも貢献している。ここで取り扱うことのできる情報はすべてディジタルデータであり、「現場内ネットワーク」に接続されているパソコンや制御装置を通じて、工事個所内の現場事務所(JV、採土管理、中央操作室、桟橋管理)の 4 事務所へ情報

を提供し、工事関係者と情報を共有することができる。

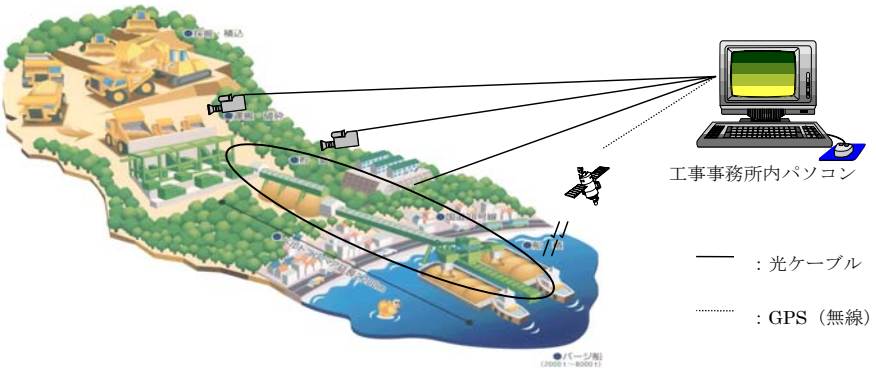


図 4-14　施工 CALS システム概要図

その提供されるディジタルデータと映像を採掘～桟橋への順に概略を説明するが、システムとの対比についてはそれぞれ(1)～(5)に示す。

(1) 採掘状況の情報配信モニタリング画面は図4-15であり、配信情報の処理と内容については、図4-23に示す。ただし、投入口（３か所）へのそれぞれの毎のダンプトラックの投入回数は図4-16の破砕機・ベルトコンベヤ稼動状況モニタリング画面の中央下部に表示され船積み作業関係者とも情報共有できることにした。

(2) 破砕機・ベルトコンベヤ稼動状況モニタリング画面は図4-16であり、

①破砕機の１基ごとの負荷電流値を表示し負荷値が高いと赤色の表示となる。また、投入岩石の大きさ割れ具合など破砕機毎の映像情報と合わせ見ることでより詳細な稼働状況の把握が可能となる。

②貯鉱場よりシップローダーまでの稼働を示し、エプロンフィーダ(８基)の使用状況、No.2～No.7のベルトコンベアとブームコンベアの稼働を示し、正常使用時には緑色、正常休止時には紺色、異常停止時には赤色の表示となる。ベルトコンベアの運搬レートは、左下の図の中に運搬設定値と実績積込みレートが表示され刻々と変化の状況を示し、その変化は右下のグラフで表示され稼働当日の稼働開始からの来歴の参照が可能である。

③船積みの状況は右下に、船名(手入力)、行き先工事、積込み予定量と積込み状況が表示され、積込みの状況グラフも棒グラフで表示している。次の積込み予定も表示される。

(3) 図4-17は配船表予実績モニタリング画面であり、その日の配船への積込み予定と実績を表示している。正常に積み込まれた実績は緑色で表示し、船名、行先工区、予定時間、予定量と実績開始時間、実績終了時間、実績量、実績積込みレート、ブームコンベアの切

替えロス時間が表示される。また、積込み中は黄色、予定は白色、積込み中止は桃色で表示し一日の稼働積込み予定量の進捗率を棒グラフで表示している。

(4) 図4-18は、土運船運航監視モニタリング画面であり、工事に関連する全ての作業船の運航状況、関空海域の海象と漁船の操業状況が把握可能である。これにより土運船の到着の遅早、気象による運休見込みなどの把握と予想が可能となり採土地の重機、設備のメンテナンス時間の確保予想も可能となり採土地全体の運営への寄与も高い。ただし、このシステムは、関西国際空港用地造成㈱、関西国際空港㈱、古野電気㈱が共同開発したシステムであり、適用工事への情報配信を受けたものである。

(5) 写真4-7は現場監視カメラ映像であり、設置したカメラの映像をリアルタイムで見ることができ、配信画像は投入口、破砕機(３台それぞれ)、貯鉱場(全景)、トリッパー(西、東)、採土場全景へ全旋回が可能(中央操作室で操作)なカメラが設置され、それぞれの事務所で必要画像に切り替えることの出来る仕組みとした。

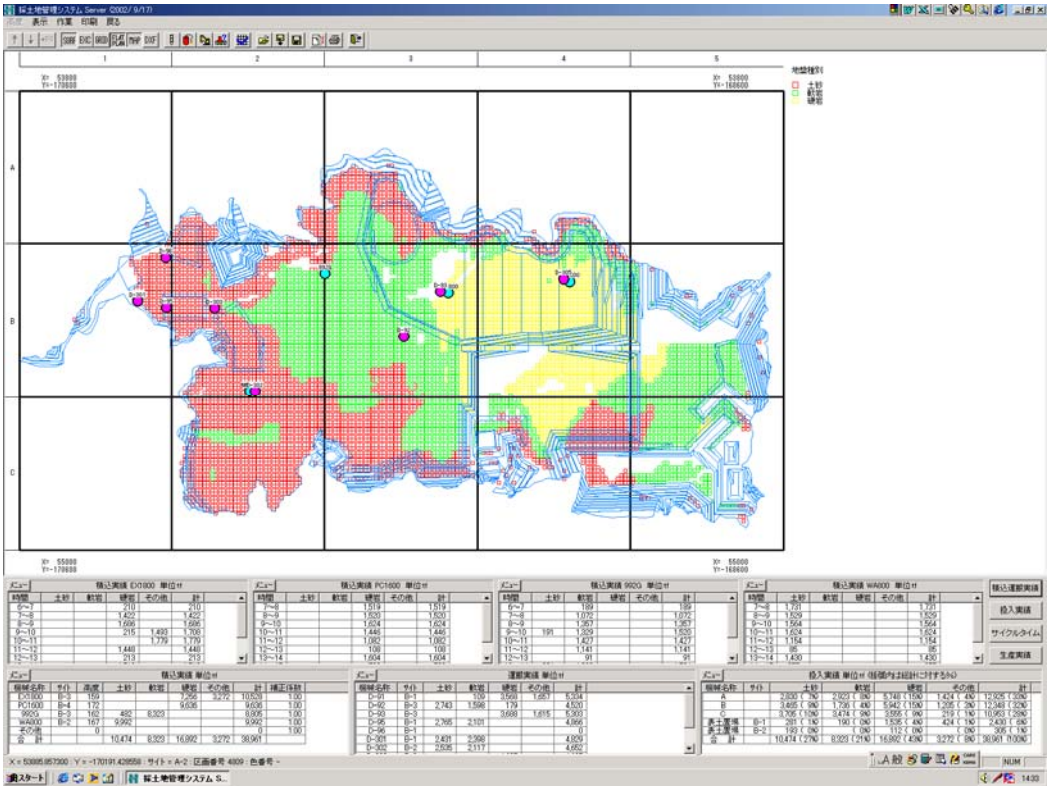


図 4-15　　採土地の稼動状況の監視画面

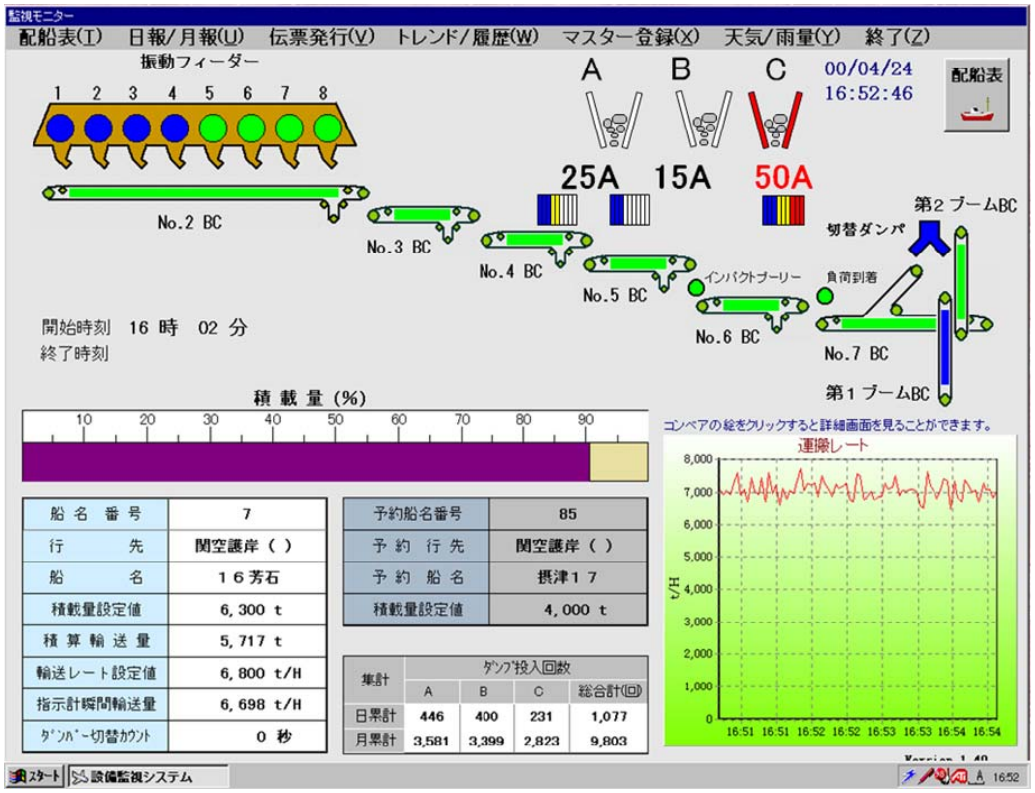


図 4-16　破砕機・ベルトコンベヤ稼動状況モニタリング画面

図 4-17　配船表予実績モニタリング画面

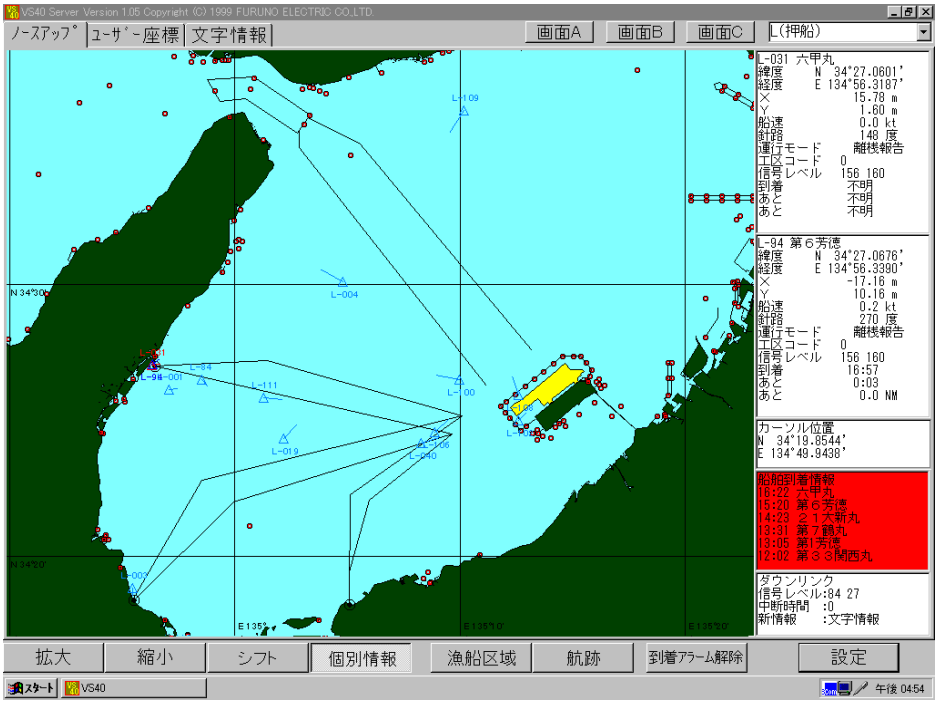


図 4-18　土運船運航監視モニタリング画面

写真 4-7　現場監視カメラ映像(貯鉱場とスクリーンとクラッシャー)

４．２．４．２　施工情報分析サブシステム

本サブシステムは、３次元採土計画システム、３次元土量管理システムと技術者支援情報分析システムの三つから成り立っている。

(1)　３次元採土計画システム

形状変更の効率化を図るために、採土場を３次元ブロックでモデル化し、掘削数量はブ

ロックの個数からから算出する（１ブロック＝10m×10m×10m）。

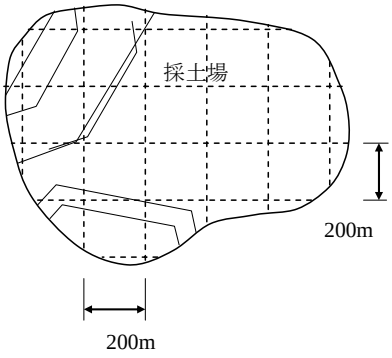


図 4-19　従来の施工管理エリア（２次元）

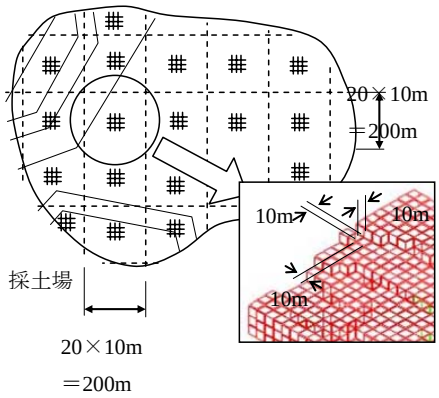


図 4-20　本システムによる
施工管理エリア（３次元）

３次元ブロックに位置情報ばかりでなく、地質情報も属性として与え、設計形状・地質境界線・工区境界線を定義することで、材料別・工区別数量表の算出を可能とするとともに３次元的な地質分布も把握することができる。その適用について、従来の管理エリアと３次元 GIS を採用した本管理システムとの対比で説明すると図 4-19 と図 4-20 の対比となる。具体的には、従来は 200m 程度の単位で平面として管理(図 4-19)していたものを３次元ブロックの集合体として立体的に管理(図 4-20)できることを示している。

(2)　３次元土量管理システム

調査・設計段階での地形・地質形状等を３次元情報化し初期データとする。

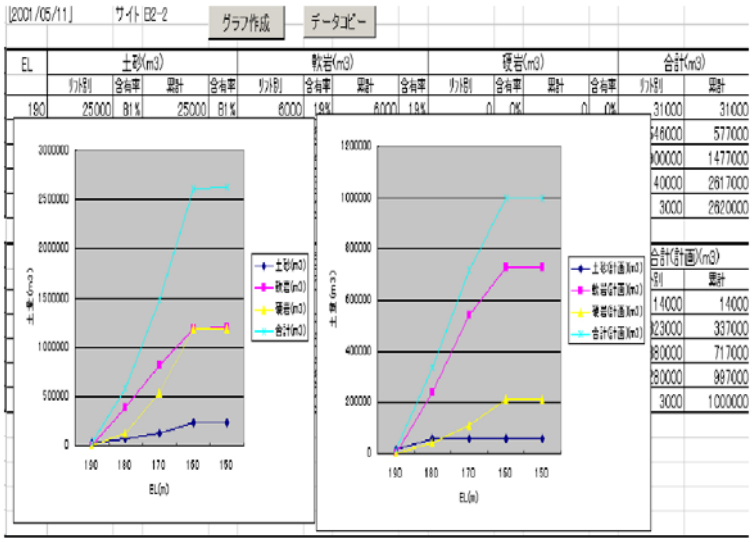


図 4-21　H-V曲線

一方、施工に伴う出来形情報は、GPS 等による測量情報から補完計算を行って３次元に作成するとともに、平均断面法により出来高数量の計算をする。出来高数量は掘削高との関係から一覧表及び H-V 曲線としてグラフ表示され（図 4-21）、残土量・材料分布状況を迅速に把握することができる。

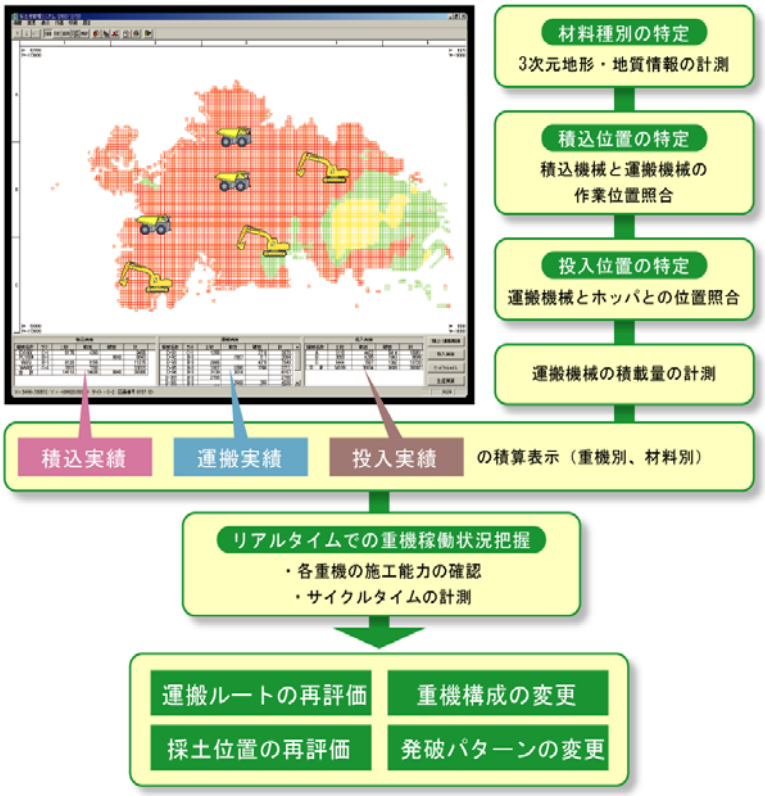


図 4-22　配信情報の説明

以上の(1)(2)の２つのシステムとも GPS 等の最新計測システムを用いて常に新しい出来形情報及び地質情報を取得し、データベースに入力・更新していくことで、実績管理・材料分布の見直し等による採掘の変更に対しても迅速な対応(図 4-22)が可能である。

(3)　意志決定支援型情報分析システム

意志決定支援型情報分析システム(以下、意思決定支援システムと呼ぶ)は、施工過程で刻々と変化する施工条件に対応して固有技術を有する技術者へ情報を提供しその判断により、重機の最適配置や最適稼働・火薬の最少利用などの最適化を実現させるシステム技術である。適用工事では、積込機械１台の１時間当り施工能力にほぼ匹敵する 10m立方体（1,000m^3）を情報ユニットとし、情報ユニット毎の地盤情報や重機情報をネットワークを利用して、リアルタイムに入力・更新して綿密に管理している。リアルタイムに送られてくる施工情報を利用した意志決定支援システムの運用について、以下に説明する。年間・

日の管理サイクルについては、図 4-23、図 4-24 の通りである。図 4-23 の PDCA サイクルは、長期（年間）について示したものであり、調査・計画・施工計画・施工レベルのサイクルを示している。

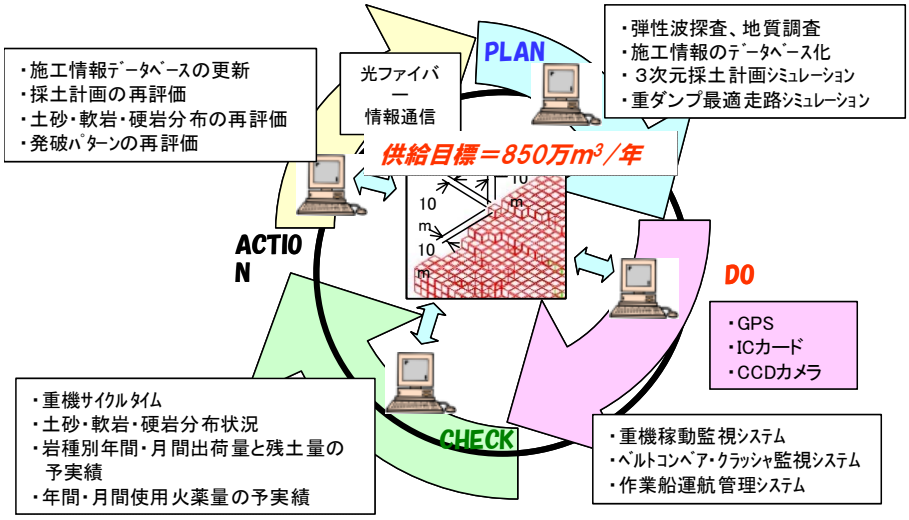


図 4-23　長期（年間）の PDCA サイクル

図 4-24 は短期の日常のサイクルであり、1 日の出荷量要求量に対し、重機配置計画・重機稼働状況等・時間当たり生産量の把握・評価など管理技術者の判断の PDCA サイクルを示している。

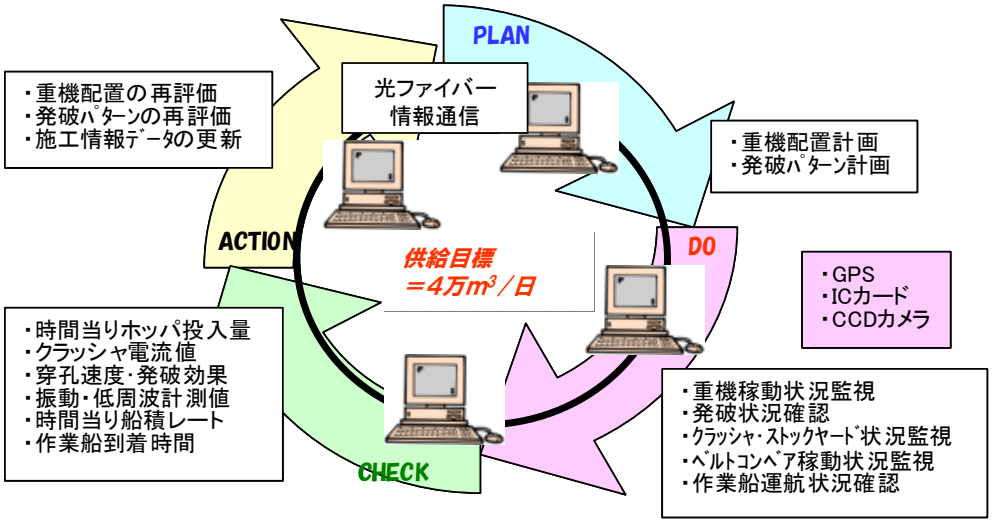


図 4-24　日常の PDCA サイクル

ここに示した PDCA を以下の①～④に記述する。

①　ＰＬＡＮ：翌日の要求出荷量をもとに、過去の　稼働実績と切羽の地盤情報に従い、積込機械の配置計画を行う。

②　ＤＯ：施工中の重機稼働状況、クラッシャ、貯鉱場の状況と稼動の諸数値をモニタ画面で監視する。各種施工情報（掘削・積込情報、運搬情報など）は、ダンプトラックが土砂をホッパに投入する際、無線、光ファイバーを介して、事務所のメインサーバに格納される。

③　ＣＨＥＣＫ：時間当りホッパ投入量、クラッシャ電流値、時間当り船積量について目標値と実績値を１時間毎に比較する。

④　ＡＣＴＩＯＮ：目標値を大きく下回り、このまま行くと要求出荷量を満足できない場合には、積込機械の切羽位置を変更する等の対策を実施する（図 4-25）。

以上の PDCA（計画・実施・照査・判断対策）を行うことにより、目標値を大きく上回る場合についても、切羽変更や積込機械のセット数を見直すなどの対策を実施することで、要求出荷量に対し無駄のない最適な重機配置を行い、重機稼働時間を最少にするよう管理できる（図 4-25）。

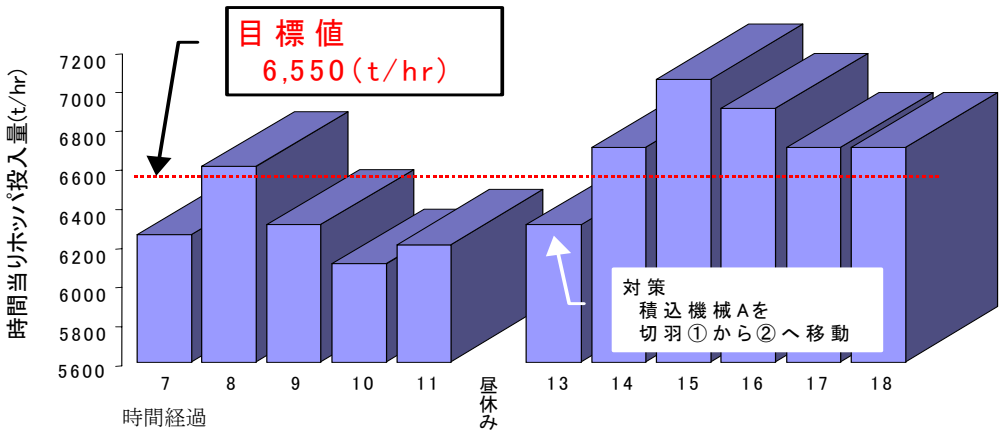


図 4-25　時間あたりホッパ投入量

４．２．４．３　施工情報管理サブシステム

施工情報管理サブシステムは、情報ユニット（３次元GIS）の更新管理より成り立っている。以下(1)～(4)により内容を記述する。

(1)　情報ユニットの作成

採土塊情報管理サーバー２３は、採土場（施工対象）を仮想的に複数の３次元ブロックに区分するとともに、この３次元プロックの位置座標を基準に採土場情報をそれぞれ対応づけて複数の情報ユニットを作成し、この情報ユニットを最小管理単位とした採土場情報の管理を行う。ここで、採土墳情報とは、上記施工情報収集機能により収集された情報のうち、採土場の地盤特性に係る情報、及び施工に係る情報のことをいう。なお、情報ユニ

ットの形状については３次元地形情報に記載した。

(2)　情報ユニットに格納される情報

情報ユニットＡに集約される情報は大きくの 2 つに分けることができる。1つは位置情報・地盤情報からなる施工対象情報であり、もう１つは施工機械情報・穿孔関連情報・発破間違情報・掘削関連情報からなる施工条件に係る情報である。以下、情報ユニットＡに格納される情報を具体的に示す。

1)　施工対象情報

「位置情報」……・ ブロック位置(x、y､標高値［m］)

「地盤情報」……・ 地質（土砂ｏｒ軟岩 or 硬岩)、地盤振動値（定点３ケ所における計測値:［dB］)、低周波振動値（定点１ヶ所における計測値［dB］

2)　施工条件に関わる情報

「施工機械情報」…… 積込機械ＩＤ（ＩＤ番号)、運搬機械Ｉ　Ｄ　（ＩＤ番号)、ホッパ番号（ＩＤ番号)

「穿孔関連情報」…… 穿孔配置（格子ｏｒ千鳥)、穿孔ピッチ（縦=［m］×横［m］)、穿孔深さ（深さ［m］)、穿孔日（年月日)、穿孔速度（m/分)、装薬量=（kg/孔)、発破係数

「発破関連情報」…… 発破日､発破係数（ｋｇ／m^3)、発破効果判定（(岩の割れ方の程度を良・普通・悪で評価)

「掘削情報」・・・　掘削日（年月日)

情報ユニットに格納された情報が、リアルタイムで必要な情報に加工されるフロー(図4-26)を示す。

(3)　情報ユニットの管理

情報ユニットは、３次元地理情報システム（Geographic lnformation System；以下、ＧＩＳと呼ぶ）による検索・表示・解析に資するように、データベース化して管理されている。ここで、ＧＩＳは、３次元空間のなかでの位置情報をもとにして、その属性情報を管理することができ、必要に応じて情報分析が可能な、システムのことである。これより、将来の施工計画に役立てることができ、工事に関係する不特定多数の者が効率良く最新の施工情報を収集・加工に保存することができる。

(4)　データベースの更新管理

情報ユニットは、日々の施工管理に役立つように、施工の進捗状況に基づいて日単位及び時分単位で更新される。これにより、現実の施工進捗状況を反映させて効率的な情報管理が行えるとともに、生産性の向上及び環境負荷の低減を目的とした現場運営が可能となる。なお、何らかの障害で取得できなかった情報があることが判明した場合は、当該情報を手入力によって追加補正できる。

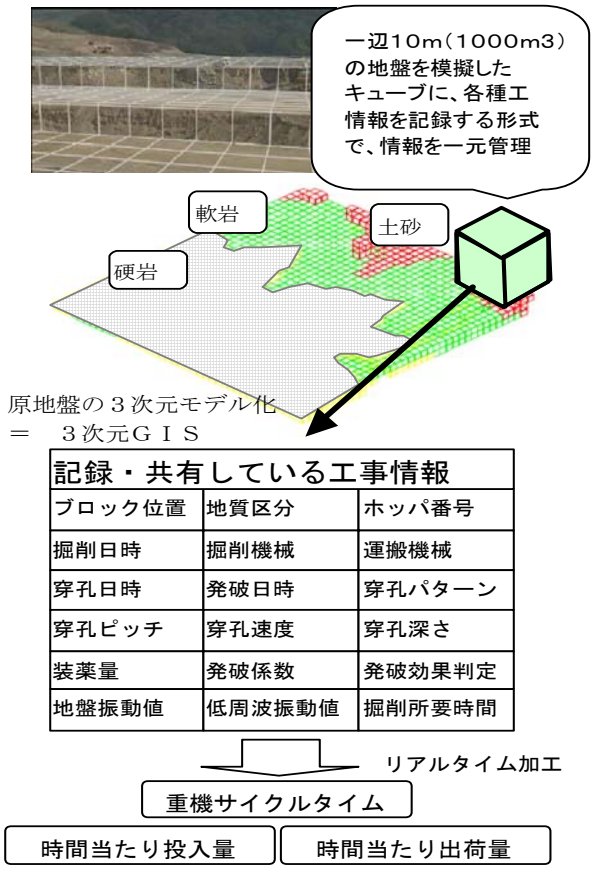


図 4-26　情報ユニットへの格納データ

４．２．５　重機稼働情報収集システム(IC カードシステム)

重機稼働情報収集システム(IC カードシステム)の特徴としては、(1)～(5)に集約される。具体的には以下に示す。

(1)　多種多様の重機の稼動データを短時間で収集可能。

(2)　重機稼動日報及び月報の作成が容易。

(3)　作業終了後に全重機の稼動データがまとめられ、翌日の重機配置計画等が可能。

(4)　重機稼動データ・労務管理の省力化が可能。

(5)　重機の安全対策（有資格者以外のエンジンスタート不可等）が可能。

本システムに使用している IC カードは、施工情報化協議会で標準化されたもので、クレジットカード等と同形状のプラスチックカードに IC チップを内蔵し、この IC チップに全ての情報を記憶するものである(写真 4-8)。このカードは偽造や不正使用が難しいことから、重機の安全管理に適用できるとともに、磁気カードに比べて大きな記憶容量をもっているため、多種多様の大型重機の稼動データを収集することができる。IC カードはオペレータの資格情報を記憶させ、エンジンスタート時にその重機の有資格者

か否かを識別する「オペレータカード」と、重機の稼動データを記憶する「機械情報カード」の２枚（１枚でも可能）からなる。さらに、これらの IC カードのデータを読み取ったり、重機の稼動データを記憶させる装置を「車載ターミナル」といい、各重機の運転室内に設置してある(写真 4-2)。各オペレータは、先ずこの「車載ターミナル」に各自の「オペレータカード」を挿入し、有資格者であることが認識されたら次に「機械情報カード」を挿入し、エンジンを始動することができる。作業終了後に「機械情報カード」を回収し、パソコンにて読み込むことで自動的に稼動日報(写真 4-10、図 4-28)等が作成される。重機土工においては、施工計画を立案するには、様々な能力を有する重機を適切に配置しなければならないが、このためには各機械の作業能力を正確に把握していく必要がある。

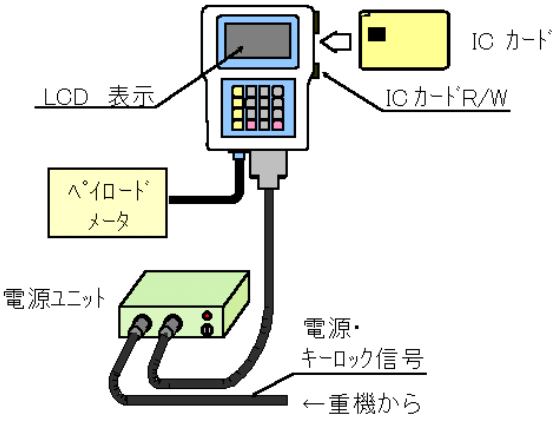


図 4-27　重機稼働情報収集システム
(IC カードシステム)の機器構成

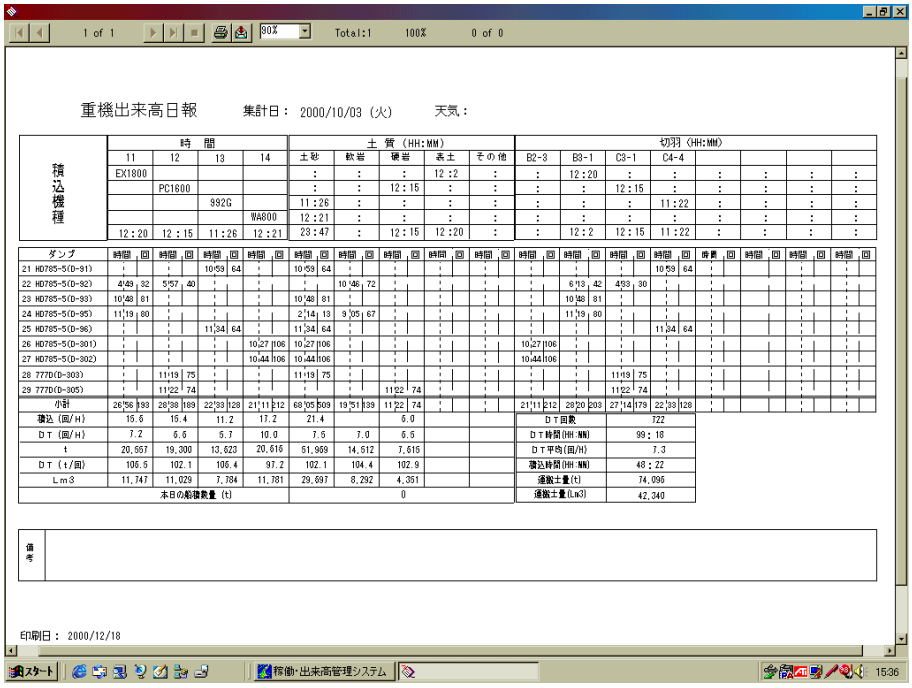
写真 4-8　IC カード

適用工事では，GPS データに含まれる時刻情報や位置情報、ペイロードデータの積載情報、IC カードに記録された稼働情報を基に、機械の作業状況管理やサイクルタイム等の計測を行っている。このことにより、機械の作業能力の算定と施工計画の策定を行う際に必要となる基礎データの収集と更新が可能となる。図 4-27 に IC カード重機稼働情報収集システムを示す。このシステムでは、認証を受けた IC カードを差し込まないと重機の始動ができないような構造になっており、安全面にも配慮されたシステムである。IC カードにはオペレータの氏名はもとより作業開始時間・終了時間、採土位置、岩種等の登録も可能で、ペイロードメータによる積載情報と合わせて重機稼動情報が生成される。構成するツールについては、①～③で構成されている。①IC カードは、「オペレータカード」（写真 4-8 上）と「機械情報カード」(写真 4-8 の 2 枚。②の車載ターミナルは、重機の運転室内に設置されており、IC カードの情報を読み取ったり IC カードへ情報を記憶させる装置。テンキー及び液晶ディスプレイ付きであるので、現場独自のデータ入力も可能である。

③の電源ユニットはシステムを稼動させる電源装置であり、有資格者以外のオペレータが IC カードを「車載ターミナル」に挿入しても、この部分で信号が切られエンジンをかけることができない仕組みとしている。

写真 4-9　車載ターミナル

写真 4-10　IC カードデータ読み取り状況



1 of 1　80%　Total:1　100%　0 of 0

重機出来高日報　集計日： 2000/10/03（火）　天気：

積込機種	時間 11	12	13	14	土質（HH:MM） 土砂	軟岩	硬岩	表土	その他	切羽（HH:MM） B2-3	B3-1	C3-1	C4-4				
	EX1800				:	:	:	12:2	:	:	12:20	:	:	:	:	:	:
		PC1600			:	:	12:15	:	:	:	:	12:15	:	:	:	:	:
			992G		11:26	:	:	:	:	:	:	:	11:22	:	:	:	:
				WA800	12:21	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
	12:20	12:15	11:26	12:21	23:47	:	12:15	12:20	:	:	12:2	12:15	11:22	:	:	:	:

ダンプ	時間	回	時間	回	時間	回	時間	回	時間	回	時間	回	時間	回	時間	回	時間	回	時間	回	時間	回	時間	回	時間	回	時間	回	時間	回
21 HD785-5(D-91)					10:59	64			10:59	64													10:59	64						
22 HD785-5(D-92)	4:49	32	5:57	40							10:46	72							6:13	42	4:33	30								
23 HD785-5(D-93)	10:48	81							10:48	81									10:48	81										
24 HD785-5(D-95)	11:19	80							2:14	13	9:05	67							11:19	80										
25 HD785-5(D-96)					11:34	64			11:34	64													11:34	64						
26 HD785-5(D-301)							10:27	106	10:27	106							10:27	106												
27 HD785-5(D-302)							10:44	106	10:44	106							10:44	106												
28 777D(D-303)			11:19	75					11:19	75											11:19	75								
29 777D(D-305)			11:22	74									11:22	74							11:22	74								
小計	26:58	193	28:38	189	22:33	128	21:11	212	68:05	509	19:51	139	11:22	74			21:11	212	28:20	203	27:14	179	22:33	128						
積込（回/H）	15.6		15.4		11.2		17.2		21.4				6.0																	
DT（回/H）	7.2		6.6		5.7		10.0		7.5		7.0		6.5																	
t	20,557		19,300		13,623		20,616		51,959		14,612		7,615																	
DT（t/回）	105.5		102.1		105.4		97.2		102.1		104.4		102.9																	
Lm3	11,747		11,029		7,784		11,781		29,697		8,292		4,351																	
本日の船積数量（t）									0																					

DT回数	722
DT時間(HH:MM)	99:18
DT平均(回/H)	7.3
積込時間(HH:MM)	48:22
運搬土量(t)	74,095
運搬土量(Lm3)	42,340

備考

印刷日： 2000/12/18

スタート　稼働・出来高管理システム　15:36

図 4-28　稼動日報(例)

４．３　破砕機・ベルトコンベア監視システム

４．３．１　設備稼働情報の収集

施工設備の稼動条件を最適化するために役立つ情報として、施工設備の稼動情報を収集（提供）する。すなわち、図 4-29 に示すように、クラッシャーに設置された負荷計利用の電流計１６(図 4-12)からの電流値（Ｓ３０１）、ベルトコンベアに設置された運搬量計利

用のメリックスケール１７(図 4-29)からの計測値（Ｓ３０２）、ベルトコンベアの稼動状況を示すシーケンサ１８(図 4-12)からの信号（Ｓ３０３） が、中央操作盤２０・光通信回線２１(図 4-12)を介して現場事務所に送信されるとともに、生産状況監視モニタ２５(図 4-12)に表示される（Ｓ３０４）。そして必要があれば、ベルトコンベアの稼動状況、船積量、及び電流値のグラフ帳票を作成し、プリンタ(図 4-29)から印刷出力する（Ｓ３０５）。

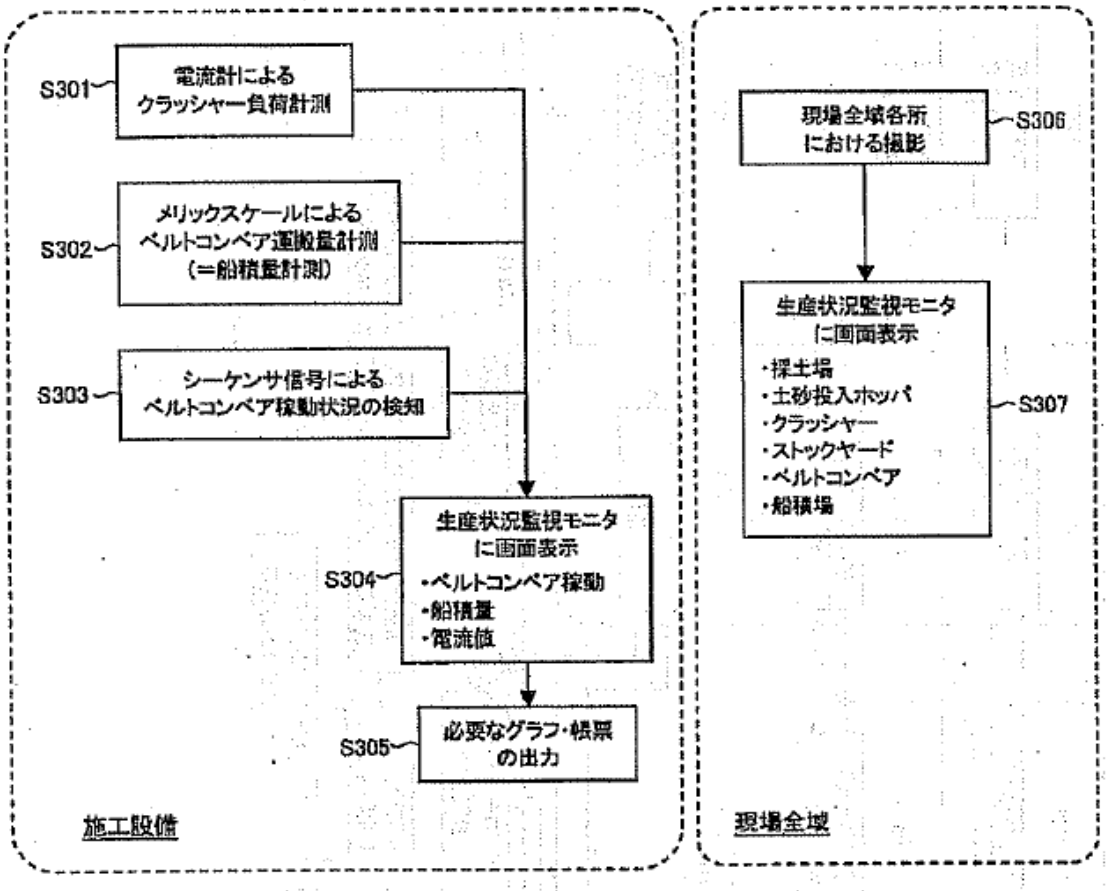


図4-29　破砕機・ベルトコンベア監視のシステム

４．３．２　設備稼働情報の提供

ここで、生産状況監視モニタＳ３０４(図 4-30)に表示される両面について説明する。メイン画面には、振動フィーダーから投入された土砂が複数の搬送用ベルトコンベアに載って搬送される様子が表示されるとともに、積載量が横棒グラフで表示され、作業船運航管理用の画面も表示される。これにより、投入する岩種比率の確認を行う判断材料とすることができる。また、作業船の巡航状況と併せて管理することで､土砂供給の安定化を図ることがきる。

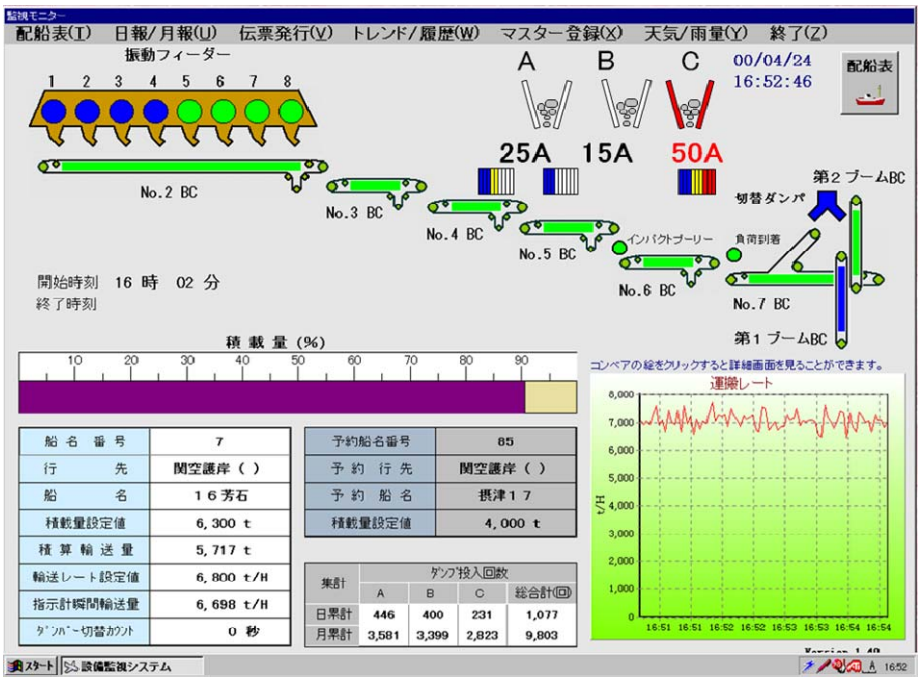


図4-30　生産状況監視モニタＳ３０４に表示される両面

４．４ 配船管理システム

関空２期工事現場より配船される土運船への配船・積込み状況を把握するためのシステムである。提供している情報による監視画面を図4-31に示す。船舶と積込み予定情報と実際の情報を対比して表示することにより遅早を把握する。また、時間当たりの積込み量・船積みロス時間を表示することにより日出荷量の推定を行うことが出来る。この配船システムと土運船運行管理システムを合わせ管理することにより１日の出荷量の予想が可能となる。

４．５　土運船運航監視システム

本システムは、関西国際空港㈱、関西国際空港用地造成㈱と古野電気㈱が開発したシステムを採土地として利用したものである。関空２期海域の海象条件、船舶の稼動などの情報と土運船の航行状況のリアルタイムでの把握が可能である。配信画面を図4-32に示すが、この配信情報により、関空２期工事の稼動と土運船の到着予想より関空海域の工事の中止、続行、土運船による採掘地到着の正確な時刻を把握でき、採掘地の運営ロスの低減への効果が期待できるとして導入した。

図 4-31　土運船の配船管理監視画面

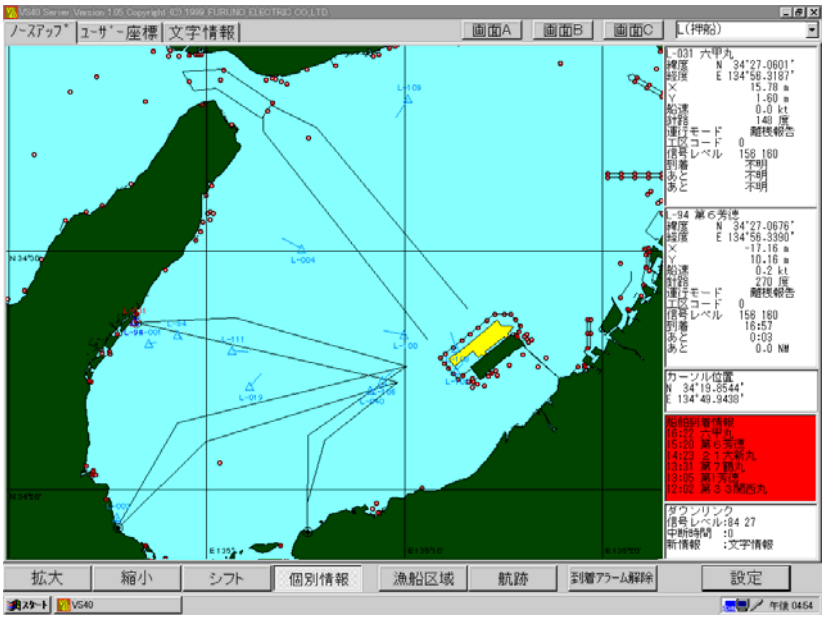


図 4-32　大阪湾の工事用船舶航行状況

第５章　施工 CALS 適用の評価

５．１　施工 CALS による施工情報の活用事例

これまでの情報化施工技術では、施工に関わる情報の収集技術の開発に主眼がおかれ、収集されたデータを分析して施工ロスに直結するなど効率化を阻害する要因分析を行い、即座にその結果を施工にフィードバックさせるといったシステムの開発あるいはその運用については、多くの事例が見られないのが現状である。本研究を通じて得られた施工 CALS により施工情報を活用し、技術者による適切な判断と柔軟な対応により成果を得られた事例についての評価を行う。

５．１．１　施工情報の一元化

収集された施工所情報を 10m キューブに収集し、必要な情報に加工し、意思決定に必要な情報として工事事務所にて工事参画者へ提供を実現させ、情報の一元化が有効であることを示した。収集し一元管理された施工情報は、「ブロック位置」「掘削日時」「積込み機械 ID」「運搬機械 ID」「地質区分」「投入ホッパ番号」「投入時刻」「ダンプトラック一台ごとのホッパ投入量」「積込み開始時間」「積込み終了時間」(図 5-1)である。

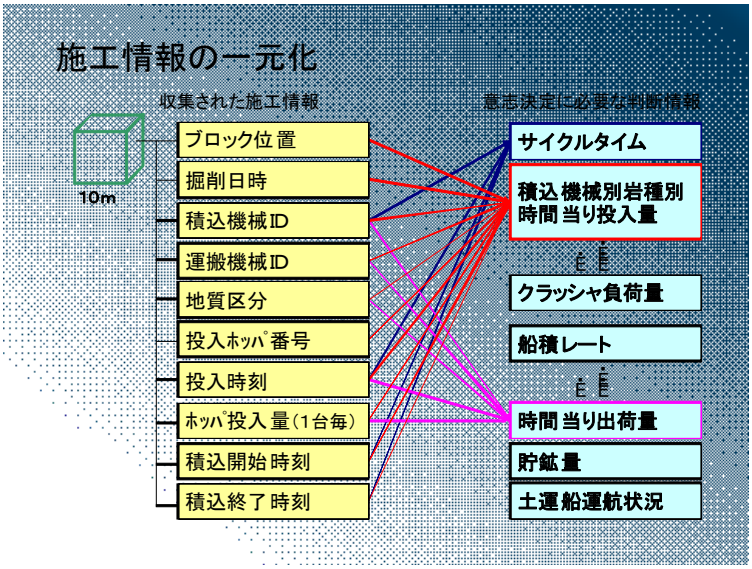


図 5-1 施工情報の一元化によるデータの加工

一元化された情報をもとに必要な情報に加工し各工事事務所に提供され、具体的には、「積込み機械 ID」、「投入時刻」、積込み開始時間」と「積込み終了時間」をもとの計算により、でダンプトラック一台ごとの「サイクルタイム」に加工した。収集データのすべてを使い「積込み機械別岩種別時間当たり投入ホッパ別の投入量」を算出する。提供されるデータは、サイクルタイム・積込み機械別岩種別時間当たり投入ホッパ別の投入量に加えて、

クラッシャ負荷量・貯鉱量・船積みレート・時間当たり出荷量・土運船運航状況(図 5-1)などである。

５．１．２　施工情報のリアルタイム化

施工に参画する技術者に、施工情報を必要なタイミング(リアルタイムに)で提供する仕組みを実現させた。一例を提示すると採掘した土量の測量しその数量を計算し採掘土量を得る、採掘量の出来形計測は従来の方法(図 4-10(a),pp90)で行うと現場測量に２週間、数量計算に２週間合計４週間が必要であった。そのために、最盛期で４か月に一回程度の実施、採掘量にして 200～250 万 m^3に一回程度の実施にとどまっていた。施工 CALS を導入し 10m キューブをベースとした情報一元化の管理(図 4-10(b))、情報加工(図 5-2)と配信(図 5-3)により、一時間または 4,000m^3程度単位で、岩種(土砂・軟岩・硬岩)別、積込み機別の採掘量の把握が可能となった。

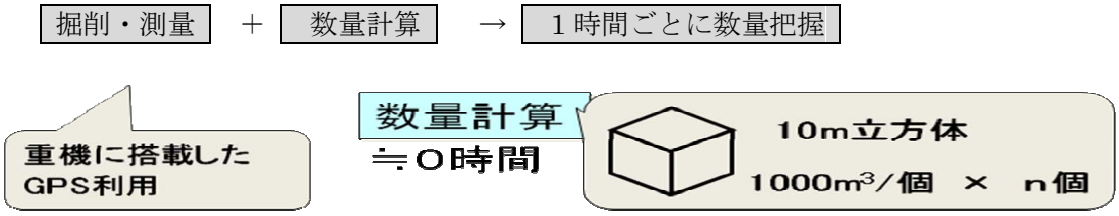


図 5-2　施工 CALS 導入による採掘数量の把握

具体的には、キューブの位置を基に岩種比率のデータより岩種別の数量をそれぞれの採掘切羽ごとに計算し投入量はキューブ個数を計上することより計算することになる。タイムラグは、計算が 7 秒ごとに実施されることより 7 秒程度となる。その他リアルタイムで把握できるデータは、サイクルタイム・クラッシャ負荷量・貯鉱量・船積みレート・時間当たり出荷量・土運船運航状況など工事参画者が意思決定に必要な情報として配信される（図 5-3)。

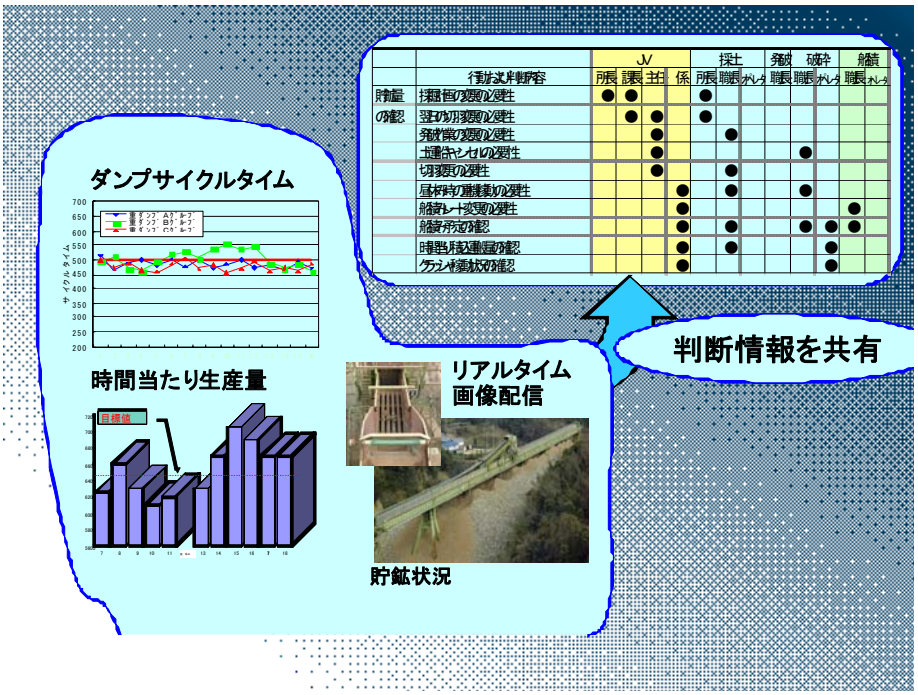
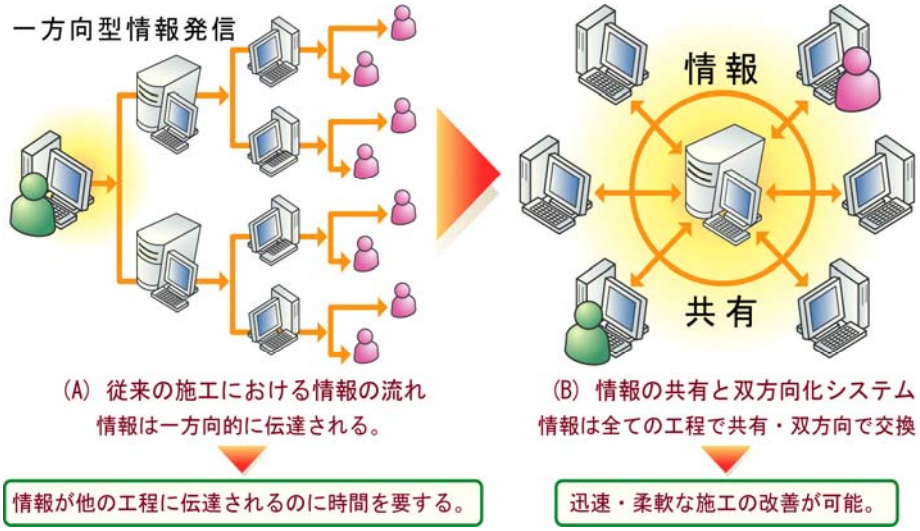


図 5-3　加工情報の配信

５．１．３　情報の共有化と双方向化（土砂投入量の管理）

この情報を活用し判断を実施する部分に大きく寄与したのが「情報の共有と双方向化」である。以下に従来の「一方向型情報発信」と施工 CALS 導入により実現させた「情報の共有と双方向システム」について図 5-4 に示す。



(a) 一方向型情報発信　　(b) 情報の共有と双方向システム

図 5-4　情報の共有と双方向化

情報の共有化と双方向化により、的確な技術管理者の判断により日当たり出荷量確保が可能となった事例を紹介する。一例として，図 5-6 に時間あたりホッパ投入量の経時グラフを，図 5-5 に運搬機械のサイクルタイムに関する経時グラフを示す。この例では、午前中の作業で目標掘削量の 6,550 t/hr に達していなかったが、昼休みの間にそれまでの重機の稼働状況に基づき重機の配置計画を修正している。

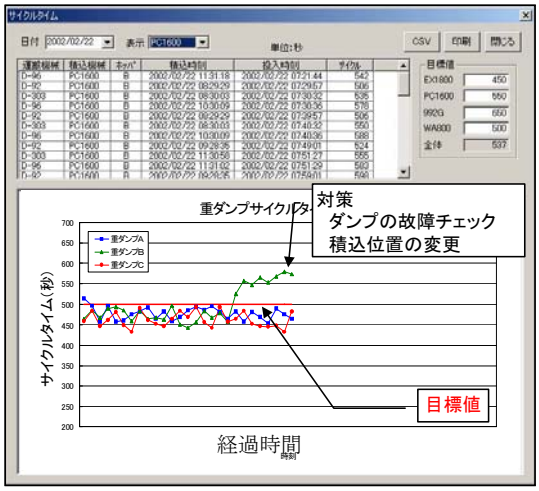


図 5-5　運搬機械のサイクルタイム

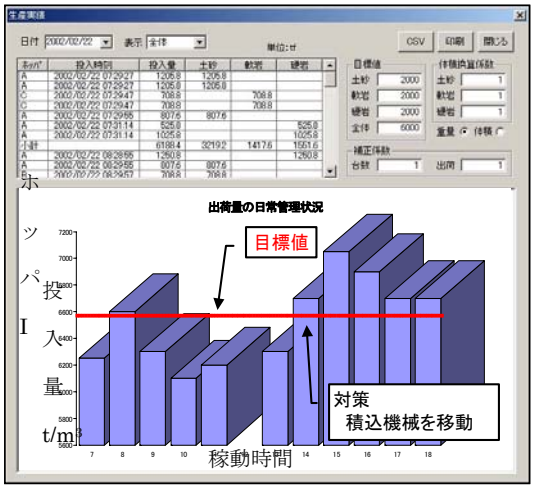


図 5-6　時間あたりホッパ投入量

この結果、午後の作業では目標掘削量が確保され、システムが有効に働いたことを示している。このように、施工ロスにつながる重機土工の作業性の悪化が即時に把握でき、機械配置や採土位置の変更といった是正措置を迅速に指示することが可能となる。さらに、材料別の採土量やホッパ投入量等の分析も可能であり、情報化技術の効果的な組み合わせにより、より緻密な施工を実現することができる。

５．１．４　工程の簡素化

「情報の共有化と双方向化」に加えて映像など大量の施工情報の提供によりプロセスの改善の効果、工程の簡素化について記述する。受け入れ工区の事情により配船の変更など関空海域の工事状況により船積み要求の増加が発生する。急遽以降の出荷に影響なく、配船された土運船を１隻の引き受けが可能かを調べて結論を出す必要が発生する。短期間に、正確に結論を出し対応する必要があり、そこでのポイントが「採掘量と船積み量のバランス」、つまり採掘量が多いのか船積み量が多いのかを判断するのが貯鉱量の変化である。貯鉱量の増減の経時変化を監視することが、山と海の作業量（採掘量と船積量）の相対把握を実施することなのである。従って、関空２期工事に求められた「大量・安定」の要求に応えるポイントである「貯鉱量の確認作業」についての事例についての効果を工程のステップ数と工程の処理時間より検証する。

５．１．４．１　「貯鉱量の確認作業」の事例検証

以下の図 5-7 に施工 CALS 導入によりコンカレントの効果で、プロセス数と作業時間の改善が得られたことを対比すると、図 5-7 となる。

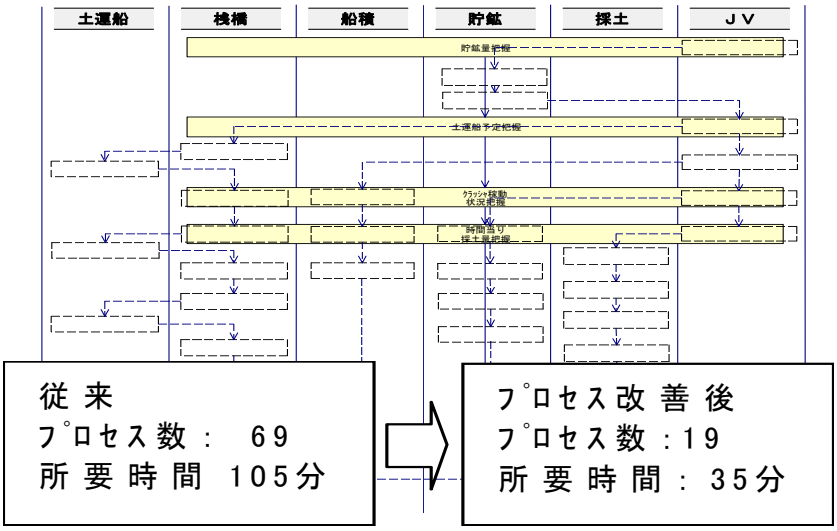
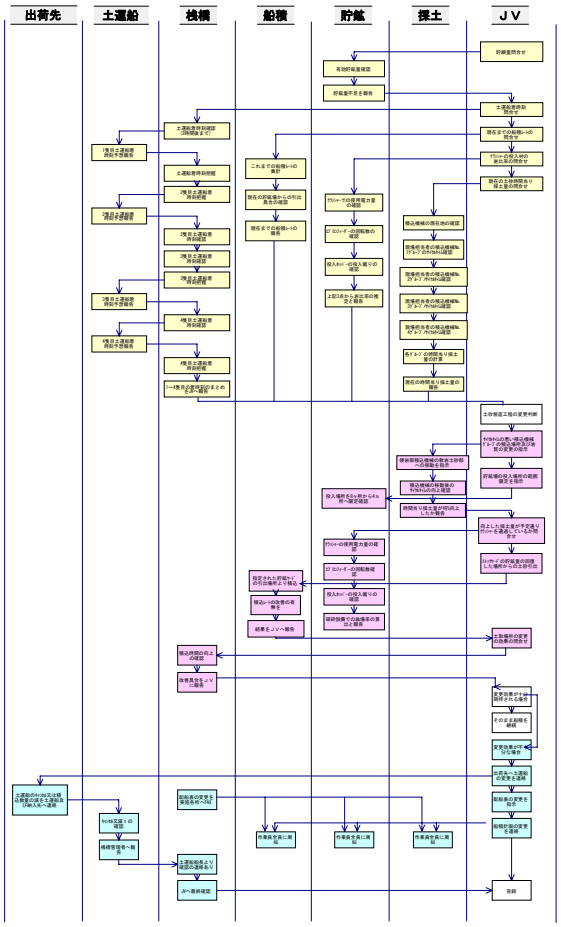
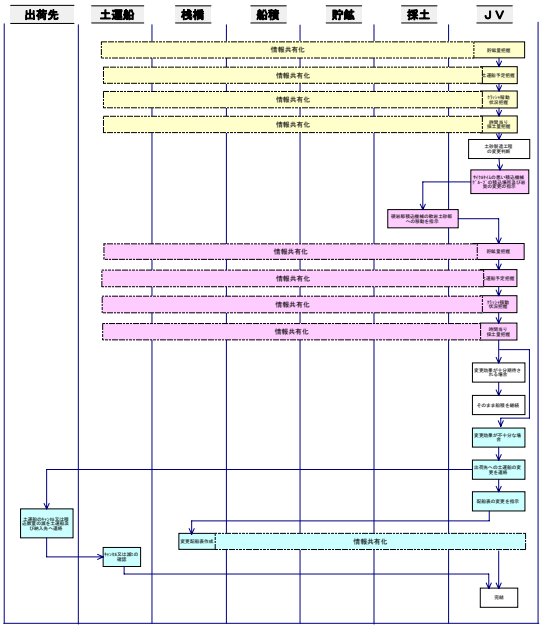


図 5-7　コンカレントの効果による改善の対比

施工 CALS 導入前と導入後の施工プロセスのそれぞれについては、図 5-8 と図 5-9 に示す。図 5-7 は、製品ストック量の管理作業のうち、元請け事務所からの「貯鉱量の残量」の問い合わせに対する工程数削減(コンカレント化)の事例である。従来は、適用工事で情報基盤の未整備によりタイムリーに情報収集・伝達ができなかったことから、関連部署や業者間の情報伝達に多くの手順、時間数を要していたが、施工 CALS を利用した施工管理では、徹底的なプロセスの見直しと図 5-7 に示すような施工情報の管理の変革により、「問合せ」「確認」「報告」等工程の簡素化(コンカレント)により、工程数を 69 から 19 ステップへ、所要時間を 105 分から 35 分へ短縮できたことを示している。「貯鉱量の確認作業」について、改善前のフローを図 5-8(a)に示す。イベントが関連部署や施工会社間をイベントが行き来し情報伝達に多くの手順、時間数を要しており、情報基盤が未整備でタイムリーに情報収集・伝達ができず、施工プロセスは 69 ステップ、所要時間は 105 分であることを示している。図 5-8(b)の改善後は、イベントが横断方向に繋がっており、情報の共有と双方向化による効果が図られていることを示している。



(a)　貯鉱量の確認作業の改善前

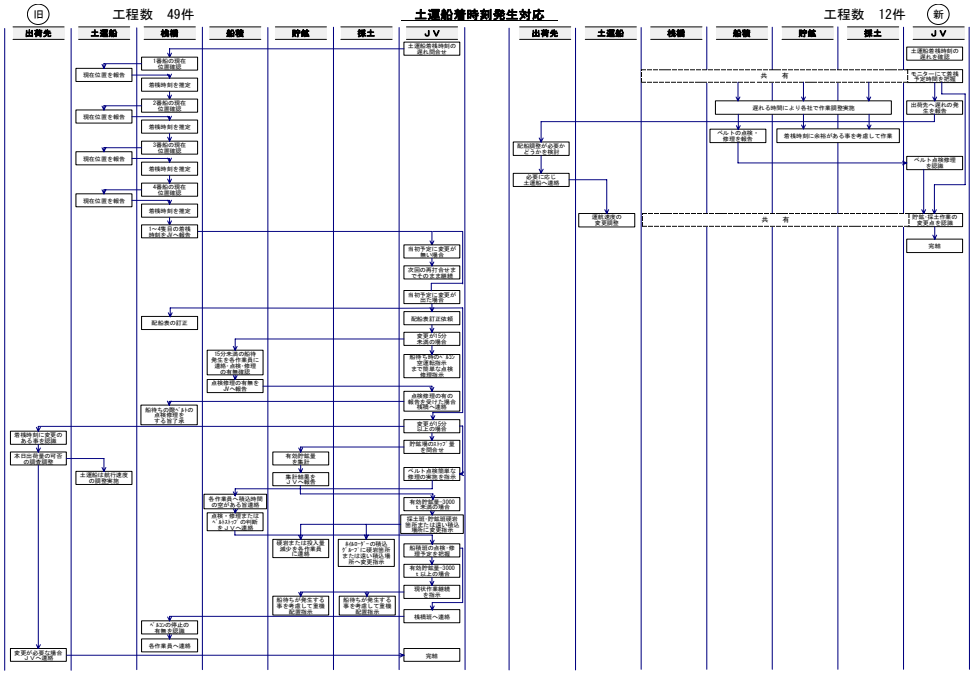


(b)　貯鉱量の確認作業の改善後

図 5-8　貯鉱量の確認作業

５．１．４．２　「土運船到着時刻の確認と対応」の事例検証

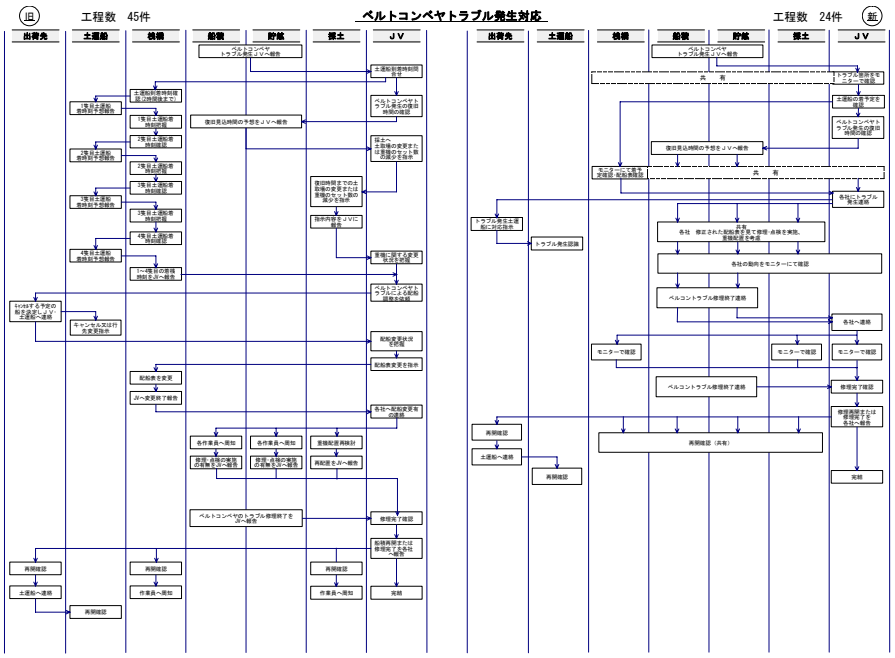
施工 CALS 導入効果の対比を従来との対比により図 5-9 に示す。施工プロセスについて、作業時間と工程数が 49 ステップから 12 ステップに減少し、情報基盤の改善が情報の共有と双方向化を実現し改善したことを示している。



(a)　土運船着時刻の確認作業の改善前　(b)土運船着時刻の確認作業の改善後

図 5-9　土運船着時刻の確認と対応の改善対比

５．１．４．３　「ベルコン故障時の対応作業」の事例検証



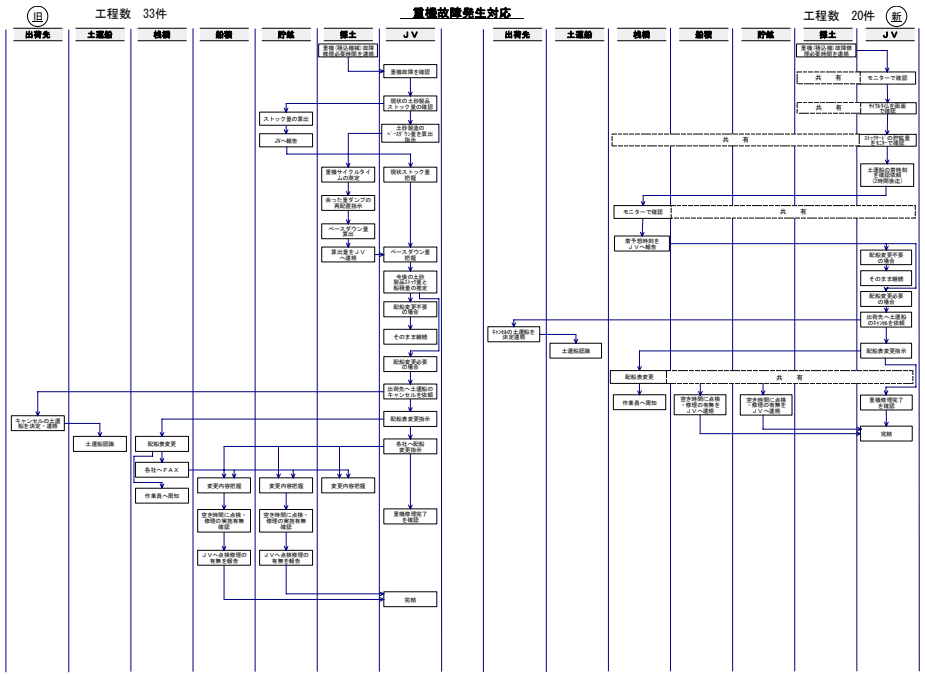
(a) ベルコン故障時の対応作業の改善前　(b) ベルコン故障時の対応作業の改善後

図 5-10　ベルコン故障時の対応作業の改善の対比

金属検知機による金属片の検知、ベルト切断などベルコン故障時の対応の作業(図 5-10)について、施工 CALS 導入効果の対比を検証すると、施工プロセスは、工程数が 45 ステップから 24 ステップに減少し改善したことを示している。やはり、各工事内の工事事務所でイベントを共有しており情報の共有と双方向化が工程の簡素化につながることを示している。

５．１．４．４　「重機の故障時の対応」の事例検証

ダンプトラックのパンク、エンジントラブルなど突発の重機の故障時の対応の作業フローについて、施工 CALS 導入効果の対比を図 5-11 に示す。イベント共有によるステップの減少と処理時間の変化をみると、施工プロセスは工程数が 33 ステップから 20 ステップに減少し、情報の共有と双方向化による工程の改善を示している。



(a) 重機故障時の対応作業の改善前　(b) 重機故障時の対応作業の改善後

図 5-11　重機故障時の対応の改善の対比

５．１．５　データベースを活用した火薬使用量の合理化

施工情報の有効利用し、発破管理により火薬使用量を効率化した事例を示す。一般的に発破作業の計画においては、施工時に収集した過去の施工情報(穿孔速度、振動・低周波計測値、発破のきき具合)を参考に、単位体積あたりの火薬量を決定する。適正な火薬であったかの評価は、振動・低周波振動については自主管理基準値と計測値との比較や、発破後の切羽の目視状況(大塊の有無)および積込み機械での積込み状況(単位時間あたりの生産実績)から判断していたが、施工 CALS では、こういった判断情報も施工情報(穿孔速度、振動・

低周波計測値、発破のきき具合)として蓄積して(図 5-12 の右、図 5-13 の左)、次プロセスの意思決定を行うことができる。すなわち、図 5-14 に示すように事前に決定した次プロセスの意思決定を行うことができる。また、図 5-14 に示すように事前に決定した火薬量と作業の結果である生産実績(単位量当たり積込み時間)をリアルタイムで対比しながら、岩の硬さに応じたより少ない火薬使用量を設定することができる。

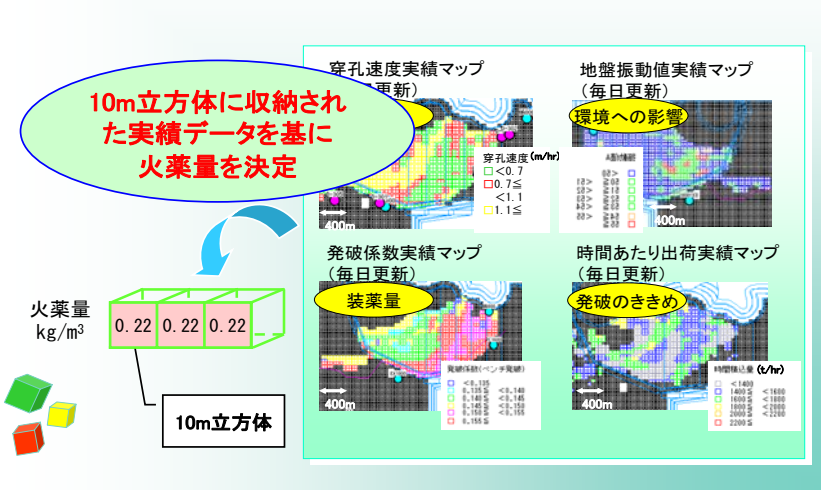


図 5-12　火薬使用量の合理化へ全体概念

火薬量の効率化の効果は火薬使用量の削減として示されており(図 5-13　右側)、従来は岩種ごと(硬岩、軟岩)の設定であったことに対して、施工実績から細分化した複数の火薬量の設定が可能となっている。

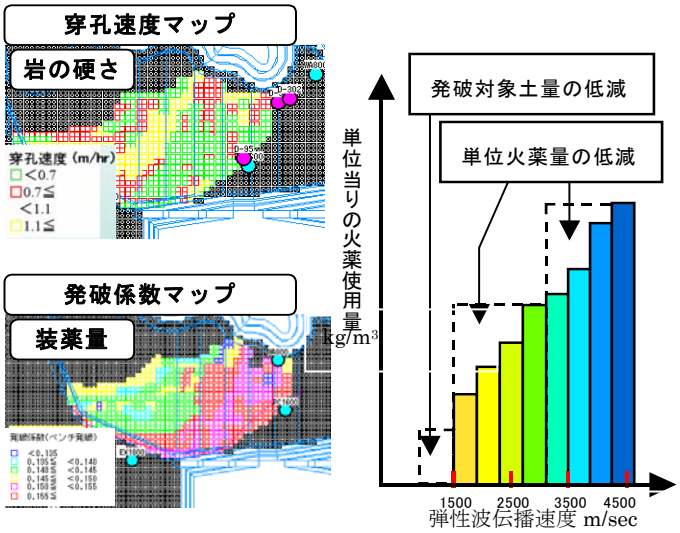


図 5-13　蓄積データと岩質区分別火薬使用量

このように施工段階で緻密に情報を収集して、それを無駄なく次施工に活かすという施工

管理の考え方に意識改革できれば、施工情報が新たな情報に生まれ変わり付加価値を伴って、施工生産性を向上させることが可能となる。

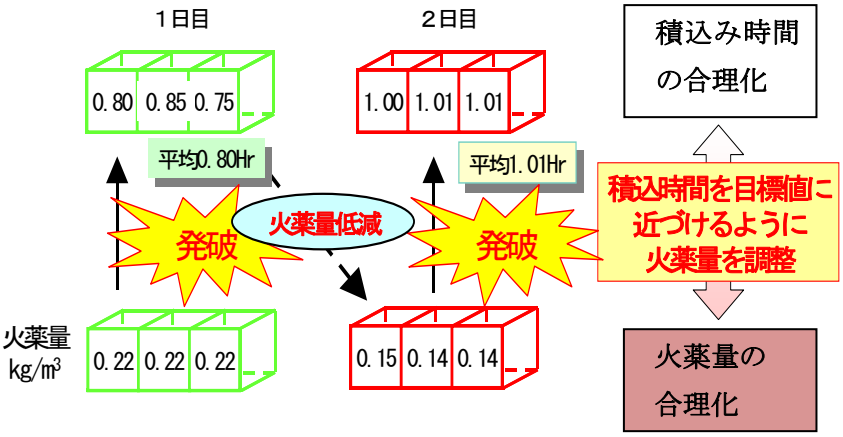


図 5-14　発破計画の合理化の作業フロー

図 5-15 に示すように、振動・低周波の自主基準値と計測値を比較し、基準値内であるか否かを把握する．また発破後の切羽の目視状況（大塊の有無）および積込機械での掘削状況（単位時間当りの生産実績）から発破の効果を評価する（CHECK）。弾性波探査結果より作成した土砂、軟岩、硬岩分類と、実際の穿孔速度から推定される土砂、軟岩、硬岩分類を比較し、大きな差異が生じた場合には、データベース（10m立方体の情報）の更新を行う。

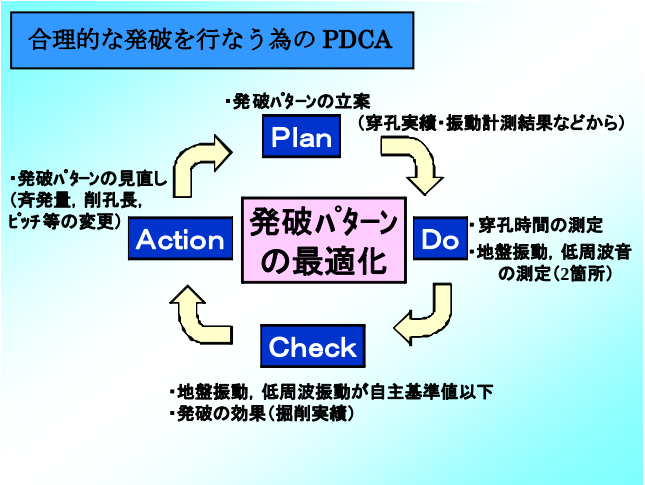


図 5-15　発破工の PDCA

穿孔速度が予想より大きい（岩質が柔らかい）場合は、発破後の積込機械での掘削実績（単位時間当りの生産実績）を勘案して、火薬量を低減させることが出来る。また、振動・低周波の自主基準値を超える場合は、発破パターンを変更することで、１孔当りの火薬量を減じたり、電気雷管の種類を替えたりして自主基準値内に収まるように管理する

（ACTION）。このように、穿孔速度、発破効果、振動・低周波計測結果などの実績を、翌日の発破パターンの決定に、迅速にフィードバックすることにより、岩の硬さに応じたより少ない火薬量使用量を維持することができる。

５．１．６　データベースを活用した全体採掘計画の作成

５．１．６．１　３次元採掘シミュレーションによる採掘計画

採掘地のデータベースを活用した長期間の採掘検討の事例を紹介する。通常の手作業の検討に比較して、短時間に高精度の土砂・軟岩・硬岩の比率を考慮した掘削計画を検討することが可能である。

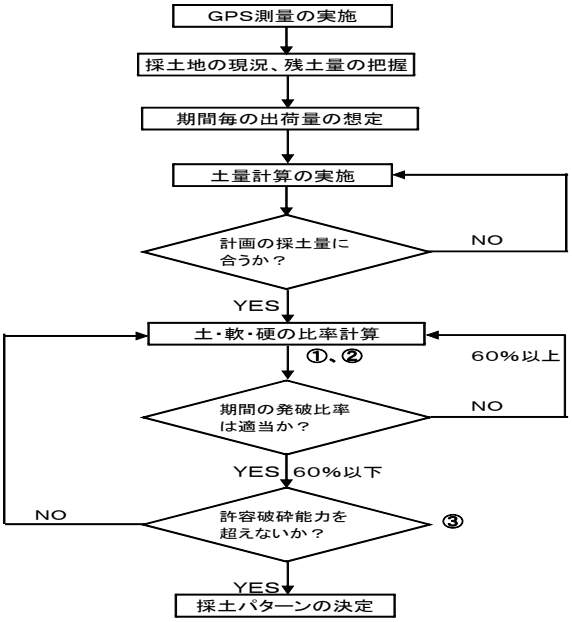


図5-16　３次元採掘計画のシュミレーションのフローチャート

三次元のデータベースを用い、長期間（検討事例では、1.5カ月と6カ月）かつ大量（同294万m^3と358万m^3）の採掘が破砕機の能力以内で可能かを検討した。本事例のように、長期間にわたり事前に検討することにより硬岩・軟岩の採掘による破砕機への負荷の平準化を図ることが可能となる。長期間に亘り大量・安定しての供給を求められた本工事では必要な検討であり手軽に検討することにより工事運営判断の妥当解を得るためには有益である。３次元採掘計画シミュレーションのためのフローチャートを図5-16に示す。

５．１．６．２　３次元採掘シミュレーションによる採掘計画の事例

平成 13 年 7 月 16 日～平成 14 年 3 月 31 日の採土量予想について、実施したシミュレーションの実施事例を示す。

(1)　平成 13 年 7 月 16 日～平成 14 年 3 月 31 日の採土量予想（パターン１）

採掘エリアを検討するために、エリアを想定し地山データをダウンロードする。彩色範囲が採掘を検討した範囲(表 5-1)であり、その枠の中に硬岩・軟岩Ⅰ（破砕必要数量）、軟岩Ⅱと土砂(破砕不要量)に分けて表示されている。それぞれに分けた数量の集計を作成し、破砕機の能力と対比して設備としての採掘可能かを検討する。

表 5-1　パターン 1 の採土量検討範囲のデータ

（平成 13 年 7 月 16 日～平成 14 年 3 月 31 日）

A2-4 土砂・軟岩Ⅰ 軟岩Ⅱ 硬岩	A2-3 土砂・軟岩Ⅰ 軟岩Ⅱ 硬岩	A3-4 土砂・軟岩Ⅰ 445,882 軟岩Ⅱ 121,134 硬岩 12,509	A3-3 土砂・軟岩Ⅰ 368,980 軟岩Ⅱ 172,297 硬岩 0	A4-4 土砂・軟岩Ⅰ 97,374 軟岩Ⅱ 4,046 硬岩 0	A4-3 土砂・軟岩Ⅰ 40,140 軟岩Ⅱ 1,961 硬岩 0	A5-3 土砂・軟岩Ⅰ 軟岩Ⅱ 硬岩
B2-1 土砂・軟岩Ⅰ 軟岩Ⅱ 硬岩	B2-2 土砂・軟岩Ⅰ 27,884 軟岩Ⅱ 20,291 硬岩 13,690	B3-1 土砂・軟岩Ⅰ 17,546 軟岩Ⅱ 200,775 硬岩 113,449	B3-2 土砂・軟岩Ⅰ 15,097 軟岩Ⅱ 275,438 硬岩 309,907	B4-1 土砂・軟岩Ⅰ 82,410 軟岩Ⅱ 116,798 硬岩 258,136	B4-2 土砂・軟岩Ⅰ 88,724 軟岩Ⅱ 375,223 硬岩 137,482	B5-1 土砂・軟岩Ⅰ 軟岩Ⅱ 硬岩
B2-4 土砂・軟岩Ⅰ 軟岩Ⅱ 硬岩	B2-3 土砂・軟岩Ⅰ 3,457 軟岩Ⅱ 400 硬岩 76	B3-4 土砂・軟岩Ⅰ 950 軟岩Ⅱ 1,978 硬岩 99	B3-3 土砂・軟岩Ⅰ 0 軟岩Ⅱ 66,933 硬岩 113,851	B4-4 土砂・軟岩Ⅰ 0 軟岩Ⅱ 38,730 硬岩 331,591	B4-3 土砂・軟岩Ⅰ 0 軟岩Ⅱ 72,187 硬岩 597,280	B5-4 土砂・軟岩Ⅰ 軟岩Ⅱ 硬岩
C2-1 土砂・軟岩Ⅰ 軟岩Ⅱ 硬岩	C2-2 土砂・軟岩Ⅰ 軟岩Ⅱ 硬岩	C3-1 土砂・軟岩Ⅰ 軟岩Ⅱ 硬岩	C3-2 土砂・軟岩Ⅰ 軟岩Ⅱ 硬岩	C4-1 土砂・軟岩Ⅰ 軟岩Ⅱ 硬岩	C4-2 土砂・軟岩Ⅰ 軟岩Ⅱ 硬岩	C5-1 土砂・軟岩Ⅰ 軟岩Ⅱ 硬岩
C2-4 土砂・軟岩Ⅰ 軟岩Ⅱ 硬岩	C2-3 土砂・軟岩Ⅰ 軟岩Ⅱ 硬岩	C3-4 土砂・軟岩Ⅰ 軟岩Ⅱ 硬岩	C3-3 土砂・軟岩Ⅰ 軟岩Ⅱ 硬岩	C4-4 土砂・軟岩Ⅰ 軟岩Ⅱ 硬岩	C4-3 土砂・軟岩Ⅰ 軟岩Ⅱ 硬岩	C5-4 土砂・軟岩Ⅰ 軟岩Ⅱ 硬岩

表中の
単位は
地山 m^3
彩色は採掘盤高
EL160
EL170
EL180
EL188
EL190

表 5-2　期間採掘量に対する岩種(土・軟・硬)別の数量(Lm^3)

平成13年7月16日～平成13年9月30日の採土量

岩種	土量(m3)	変化率	土量(Lm3)
土砂・軟岩Ⅰ	505,273	1.20	606,328
軟岩Ⅱ	737,603	1.35	995,764
硬岩	811,429	1.65	1,338,858
合計			2,940,950

平成13年10月1日～平成14年3月31日の採土量

岩種	土量(m3)	変化率	土量(Lm3)
土砂・軟岩Ⅰ	683,171	1.20	819,805
軟岩Ⅱ	730,588	1.35	986,294
硬岩	1,076,641	1.65	1,776,458
合計			3,582,557

①採土量に対する発破比率の予想

平成 13 年 7 月 16 日～9 月 30 日の破砕量は 40%程度であり設備運用上問題はないが、10 月以降の破砕比率が高いので、近接地の施工時の実績破砕比率を採用し検討する。軟岩Ⅱ実績発破比率を、56%（平成 13 年 4 月 6 日～7 月 16 日）で検討すると表 5-3 となる。

表 5-3　期間発破比率の計算集計

出 荷 期 間	軟岩Ⅰ発破量(Lm3)	軟岩Ⅱ発破量(Lm3)	硬岩発破量(Lm3)	採土量(Lm3)	発破比率(%)	判定
平成13年10月1日~平成14年3月31日	0	552,325	1,776,458	3,582,557	65.0	NO

② この場合、発破比率が 60%を超えてしまうため採土区域の変更を行う。採掘範囲を C2 エリアに広げて、採掘高さを高くとる計画に変更することにした。

表 5-4　パターン２の採土量検討範囲のデータ（平成 13 年 7 月 16 日～平成 14 年 3 月 31 日）

A2-4		A2-3		A3-4		A3-3		A4-4		A4-3		A5-3		表中の単位は地山 m^3					
土砂・軟岩Ⅰ		土砂・軟岩Ⅰ		土砂・軟岩Ⅰ	445,882	土砂・軟岩Ⅰ	317,476	土砂・軟岩Ⅰ	97,374	土砂・軟岩Ⅰ	40,140	土砂・軟岩Ⅰ							
軟岩Ⅱ		軟岩Ⅱ		軟岩Ⅱ	121,134	軟岩Ⅱ	78,501	軟岩Ⅱ	4,046	軟岩Ⅱ	1,961	軟岩Ⅱ		彩色は採掘盤高					
硬岩		硬岩		硬岩	12,509	硬岩	0	硬岩	0	硬岩	0	硬岩							
B2-1		B2-2		B3-1		B3-2		B4-1		B4-2		B5-1							
土砂・軟岩Ⅰ		土砂・軟岩Ⅰ	27,884	土砂・軟岩Ⅰ	17,546	土砂・軟岩Ⅰ	15,097	土砂・軟岩Ⅰ	82,410	土砂・軟岩Ⅰ	88,724	土砂・軟岩Ⅰ							
軟岩Ⅱ		軟岩Ⅱ	20,291	軟岩Ⅱ	200,775	軟岩Ⅱ	275,438	軟岩Ⅱ	116,798	軟岩Ⅱ	375,223	軟岩Ⅱ							
硬岩		硬岩	13,690	硬岩	113,449	硬岩	309,907	硬岩	258,136	硬岩	137,482	硬岩							
B2-4		B2-3		B3-4		B3-3		B4-4		B4-3		B5-4							
土砂・軟岩Ⅰ		土砂・軟岩Ⅰ	3,457	土砂・軟岩Ⅰ	950	土砂・軟岩Ⅰ	0	土砂・軟岩Ⅰ	0	土砂・軟岩Ⅰ	0	土砂・軟岩Ⅰ							
軟岩Ⅱ		軟岩Ⅱ	400	軟岩Ⅱ	1,978	軟岩Ⅱ	66,933	軟岩Ⅱ	38,730	軟岩Ⅱ	72,187	軟岩Ⅱ							
硬岩		硬岩	76	硬岩	99	硬岩	113,851	硬岩	331,591	硬岩	597,280	硬岩							
C2-1		C2-2		C3-1		C3-2		C4-1		C4-2		C5-1							
土砂・軟岩Ⅰ	174,004	土砂・軟岩Ⅰ	166,180	土砂・軟岩Ⅰ		土砂・軟岩Ⅰ		土砂・軟岩Ⅰ		土砂・軟岩Ⅰ		土砂・軟岩Ⅰ							
軟岩Ⅱ	0	軟岩Ⅱ	0	軟岩Ⅱ		軟岩Ⅱ		軟岩Ⅱ		軟岩Ⅱ		軟岩Ⅱ							
硬岩	0	硬岩	0	硬岩		硬岩		硬岩		硬岩		硬岩							
C2-4		C2-3		C3-4		C3-3		C4-4		C4-3		C5-4							
土砂・軟岩Ⅰ	33,418	土砂・軟岩Ⅰ	0	土砂・軟岩Ⅰ		土砂・軟岩Ⅰ		土砂・軟岩Ⅰ		土砂・軟岩Ⅰ		土砂・軟岩Ⅰ							
軟岩Ⅱ	0	軟岩Ⅱ	0	軟岩Ⅱ		軟岩Ⅱ		軟岩Ⅱ		軟岩Ⅱ		軟岩Ⅱ							
硬岩	0	硬岩	0	硬岩		硬岩		硬岩		硬岩		硬岩							

EL160
EL170
EL180
EL188
EL190
EL200

表 5-5　期間採掘量に対する岩種(土・軟・硬)別の数量

平成13年7月16日～平成13年9月30日の採土量

岩種	土量(m3)	変化率	土量(Lm3)
土砂・軟岩Ⅰ	505,273	1.20	606,328
軟岩Ⅱ	737,603	1.35	995,764
硬岩	811,429	1.65	1,338,858
合計			2,940,950

平成13年10月1日～平成14年3月31日の採土量

岩種	土量(m3)	変化率	土量(Lm3)
土砂・軟岩Ⅰ	1,005,269	1.20	1,206,323
軟岩Ⅱ	636,792	1.35	859,669
硬岩	1,076,641	1.65	1,776,458
合計			3,842,450

③　採土量に対する発破比率の予想

同様に、軟岩Ⅱ実績発破比率 56%（平成 13 年 4 月 6 日～7 月 16 日）で検討すると

表 5-6　発破比率の検討計算

	出荷期間	軟岩Ⅰ発破量(Lm3)	軟岩Ⅱ発破量(Lm3)	硬岩発破量(Lm3)	採土量(Lm3)	発破比率(%)	判定
平成13年	10月1日～平成14年3月31日	0	481,415	1,776,458	3,842,450	58.8	OK

表 5-6 の結果となり、発破比率を所定の範囲内に押さえることが出来る。

④時間当たりの破砕能力検討結果

破砕量を一時間当たりに換算し、破砕能力を検討すると図 5-7 の結果を得る。

表 5-7　発破比率の検討

軟岩破砕量(t/hr)	硬岩破砕量(t/hr)	計画破砕量(t/hr)	現有破砕能力(t/hr)	判定
170	2,060	2,230	2,520	OK

従って、パターン２の方法にて採土計画を行うことにした。このデータベースを活用が可能となり広大な範囲の採掘範囲の変更を自在に行い、短期間での変更計画の検討の実現により、緻密な計画検討を頻度高く実施できることにより長期間の大量に安定した採土地の稼働が可能なことを示した。

５．２　施工 CALS 適用の効果

適用工事に求められた課題の達成を図るために、高度情報化施工を導入し、その支援システムである施工 CALS を開発・適用した。不確定要因を前提に計画や設計を行わざるを得ない建設工事において、実施工段階で情報技術を利用して得られた新たな情報に基づき、施工計画を適宜見直すことにより、必要以上のエネルギーや資材の投入を抑えることができるため、コスト縮減と環境負荷低減など相反する目的など工事目的の複数を両立させることができる。施工 CALS の役割は、変化する施工条件へ情報を活用し適切で柔軟なの対応を実現させることであり、施工 CALS の役割は図 5-17 に示す。

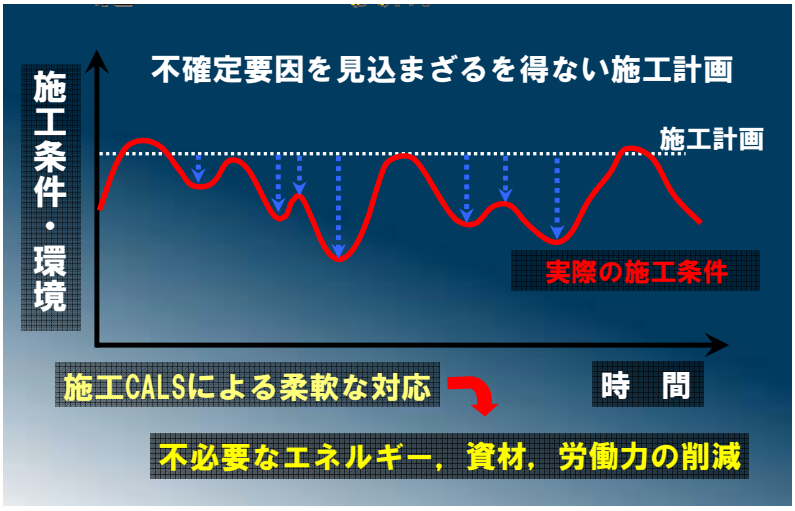


図 5-17　施工 CALS の役割

施工 CALS の適用と個別技術による工法などの改善による、主たる効果をまとめたものを表 5-8 に、適用工事に高度情報化施工と施工 CALS を導入し運用した工程の実施フローの中に施工 CALS のそれぞれのシステムと実施した対策を表示したものを図 5-18 に示す。

具体的に、施工 CALS の適用による導入効果(表 5-8)は、

(1)～(3)　３次元 GIS 適用による採土工の情報一元化、データベース化の実現と採掘地のモデル化による採土計画シミュレーション

(4)　ＧＰＳを用いた３次元測量データ収集システム

(5)　３次元土量管理システム

(6)　ダンプ走路の効率走行へのシミュレーション

(7)　採掘のサイクルタイム収集、分析

(8)　重機の効率配置と施工計画の合理化

(9)　重機併用ベンチ発破工法採用

(10)　試験発破による発破工法のエリア分けと振動測定による効率発破パターン

(11)　ＩＣカード導入による重機稼働データ収集、

(12) ＬＡＮ(光ファイバーケーブル)を用いた施工情報の共有化（重機稼働、クラッシャ、ベルコン、土運船など）

以上(1)～(12)が建設マネジメント技術適用の内容であり、その効果は表 5-8 の導入効果に示した。

表 5-8　施工 CALS システムの適用と導入効果

<table>
<tr><th></th><th>施工ＣＡＬＳの適用内容</th><th colspan="2">導入効果</th></tr>
<tr><td>(1)</td><td>弾性波探査＋専門家の地表踏査による土砂・軟岩・硬岩の分類</td><td colspan="2" rowspan="3">クラッシャに過度の負荷をかけない
大量かつ安定的な出荷を実現
→　１日出荷量の増大、平準化

採土エリアの精密管理により、
次期採土計画への的確なフードバックを実現</td></tr>
<tr><td>(2)</td><td>情報ユニット（１辺 10m 立方体）を用いた精密な施工情報の管理</td></tr>
<tr><td>(3)</td><td>３次元採土計画シミュレーション（土砂・軟岩・硬岩の比率を考慮した採土計画）</td></tr>
<tr><td>(4)</td><td>ＧＰＳを用いた３次元測量データ収集システム</td><td>測量業務の効率化</td><td>従来：6 日／回
今回：2 日／回</td></tr>
<tr><td>(5)</td><td>３次元土量管理システム</td><td>土量管理業務の効率化</td><td>従来：　6 日／回
今回：2.5 日／回</td></tr>
<tr><td>(6)</td><td>ダンプ走路シミュレーション</td><td>燃費を向上させる走路勾配(5%未満)ホッパ前の線形検討とタイヤ寿命延長にも寄与</td><td>燃料消費量：21%減</td></tr>
<tr><td>(7)</td><td>サイクルタイム収集・分析・短縮</td><td>掘削、積込みからホッパ投入までの平均サイクルタイムを短縮</td><td>従来工法：540 秒
新施工法：480 秒</td></tr>
<tr><td>(8)</td><td>重機配置シミュレーション</td><td colspan="2">岩種別採土予定数量、重機の採土能力、クラッシャの破砕能力等から、適切な切土場位置、重機セット数及び組み合わせを検討し 1 日出荷量の効率的な増加に寄与</td></tr>
<tr><td>(9)</td><td>重機併用ﾍﾞﾝﾁ発破工法採用による火薬量の低減（環境負荷低減）</td><td>発破係数、発破比率の低下と使用火薬量の低減</td><td>火薬量低減率：52%</td></tr>
<tr><td>(10)</td><td>試験発破による発破工法別エリア分けと振動測定による発破工法の見直し</td><td>自主基準値達成率</td><td>地盤振動値：99.4%
低周波振動：99.5%</td></tr>
<tr><td>(11)</td><td>ＩＣカード導入による重機稼働データの収集</td><td colspan="2">サイクルタイム集計の迅速化、重機の効率配置と確認のシミュレーションへの早期フィードバック、重機日報、労務管理の効率化</td></tr>
</table>

(12)	ＬＡＮ(光ファイバーケーブル)を用いた施工情報の共有化と双方向化（重機稼働、クラッシャ、ベルコン、土運船など）	稼働状況、トラブルの原因などの安全管理情報のリアルタイム把握と対策等への意思決定の迅速化と決定実施結果の把握

施工 CALS の適用内容のベースには固有技術と個別技術があり、採土工のルーチンワークの主要なる構成部分へ適用し、その運営目標への施工プロセスでの改善とその確認のルーチンでの改善の輪により大きな導入効果を発揮した。ただし、施工段階では工法と施工に関わる技能レベル、管理レベルなど人為要素は有機的にかかわっており、厳密的な分離は困難であり、固有技術と個別技術による効率化への改善と施工情報の活用による工事サイト内の協働の効果として第５章施工 CALS 適用の評価に記述する。

５．２．１　施工 CALS の利点

高度情報化施工と施工 CALS の適用による利点のとしては、施工の効率化を数値化できることがあげられる。コスト・品質・工期・安全・労務・環境といった目的関数の一つあるいは複数に対し「綿密に調査・計測を通じて、地盤特性の空間的な分布や施工条件に関する詳細な情報を把握し、施工方法・工程計画の策定及び運営管理など土工事に関するプロセス全体を最適化する。」という精密施工の趣旨に沿った工事運営を目指す高度情報化施工を適用し、プロセスでリアルタイムに目的関数の経過数値を把握しつつその合理解を得る。この仕組みにより数値化されたアウトプットを得ることになり、その目標とする関数の達成度を数値として把握できる。

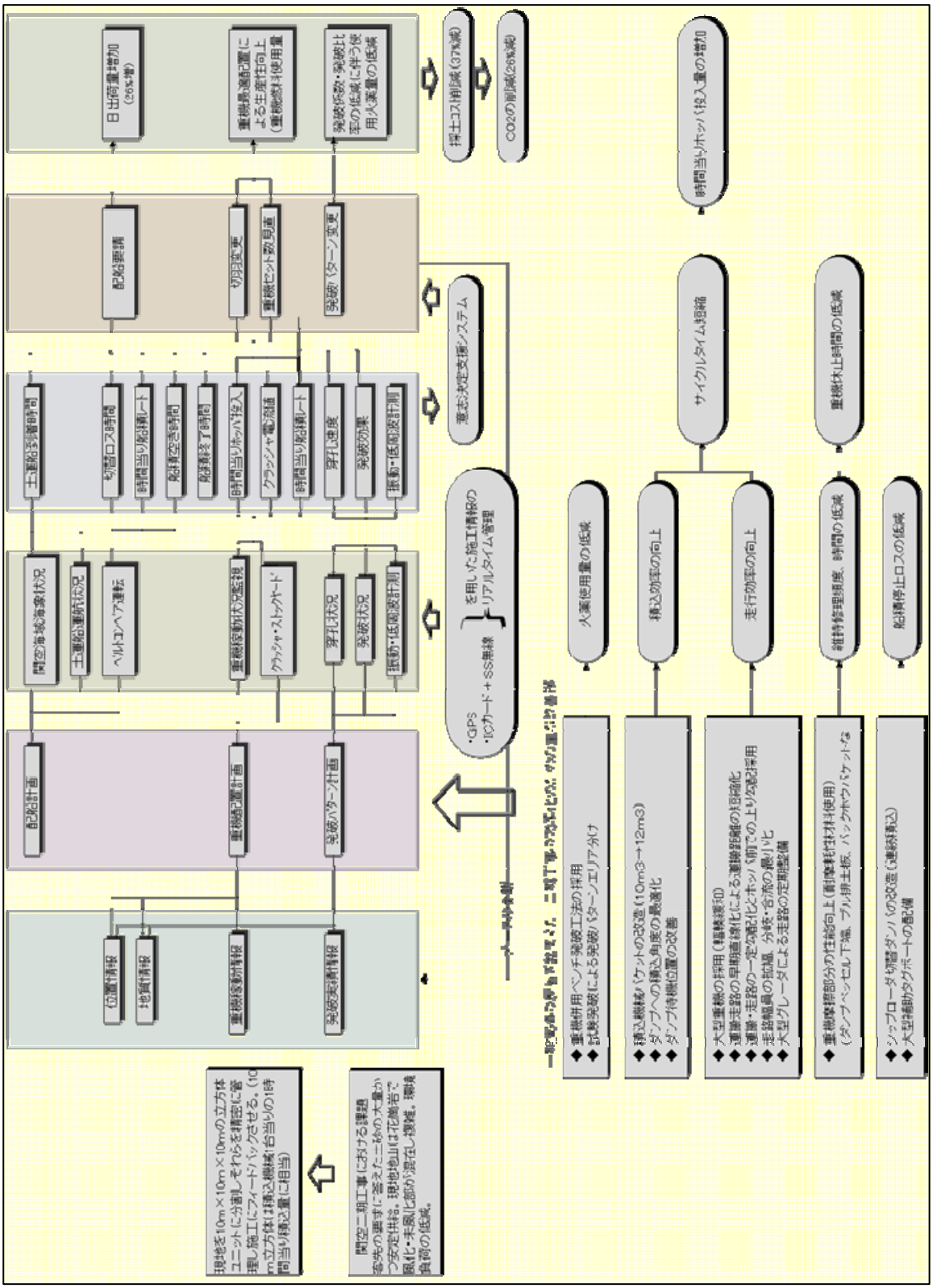


図 5-18　大規模工事における高度情報化施工と施工 CALS 適用とその導入効果

５．２．２　施工の効率化に関する効果の検証

施工 CALS を適用した現場では、「大量かつ安定的な土砂供給」と「環境負荷の低減」が求められた。この要求を実現させるために、高度情報化施工を適用し、施工の合理化によりねらいの実現に取り組んだ。合理化への組み立ては、効率化と工程の簡素化であり、本項では効率化について検証する。「単位生産量の向上」、「生産コストの低減」と「CO_2（環境負荷）の低減」について効果を得た(1)～(8)について検証を行う。

(1)　適用工事に求められたの目標と実績との対比により検証する

(2)　施工効率に関する効果として、出荷量を関空１期出荷量と実績数値の対比より検証する。

(3)　施工プロセスの効果を重機の配置面より、作業能力・サイクルタイム・燃料消費率と重機併用発破工法による改善などについて作業能力など標準数値との対比より検証する。

(4)　コスト低減に関する効果は、関空 1 期と関空２期の工事費の算定数値との対比より検証する。

(5)　環境負荷の低減に関する効果は、燃料消費量と CO_2 排出量を関空 1 期工事と２期工事の算定数値の対比より検証する。

(6)　総合効果としてコンカレント面と実践的な最適化へのアプローチより、従事する職員数、情報量と意思決定支援・判断時間の創出について対比より検証する。

(7)　高度情報化施工と施工 CALS の汎用性より他の適用事例と発展性について検証する。

(8)　個別技術による改善効果と工事運営に関する効果は、関空１期と２期の測量から土量管理作業の比較より検証する。

５．２．２．１　適用工事の目標と結果

(1)　出荷量目標と結果

関空２期への出荷目標は、設備の最大能力での稼働による出荷を目標とし、平均出荷量で 40,000 m³/日、月次で 100 万 m³/月、年間で 1,000 万 m³/年間を目標とした。

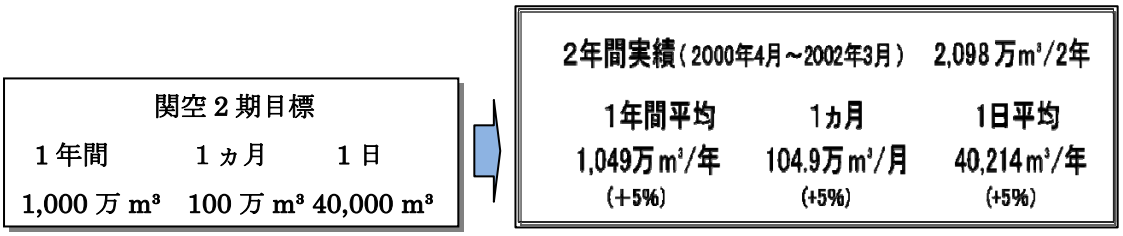


図 5-19　関空２期の出荷目標と実績

関空２期の実績は最盛期 2000 年 4 月より 2002 年 3 月の 2 年間の稼働結果は図 5-19 に

示す通り、年間目標、月間目標と１日目標に対し 5%上回った。2 年間の長期にわたり、短期から長期の目標を上回ったことは「長期間、安定して」の運営の実現を示した。

(2)　環境負荷低減目標と結果

発破振動と低周波振動の低減の自主管理基準値を下回っての実施率の目標と結果を以下に示す。

1）発破振動と低周波振動の低減

発破振動については、55db 以下と兵庫県の指導基準を下回る自主基準を設定し、低周波についても 90db の自主基準とした。発破時の管理目標は、自主管理基準値以内の発破実施率を 95%以内とした。

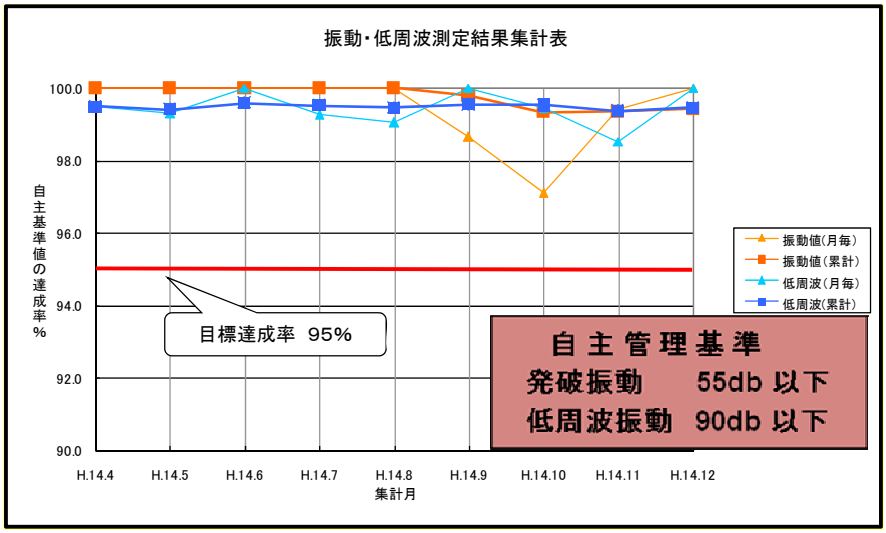
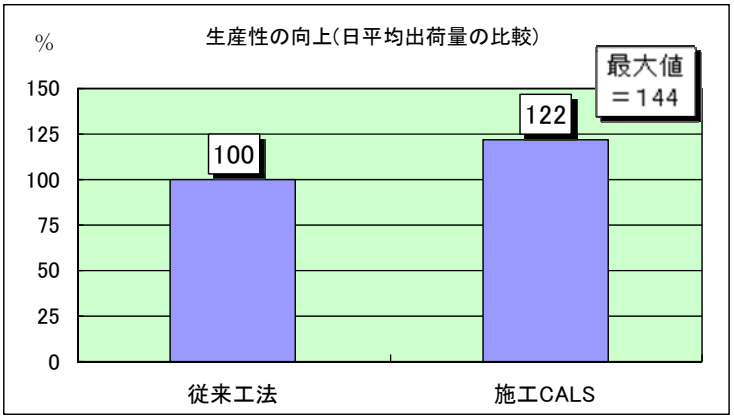


図 5-20　振動管理基準値の目標達成比率の管理図

平成 14 年 4 月から平成 14 年 12 月の発破の最盛期の管理基準値と発破時の発破振動と低周波振動の測定値と管理基準値の関係を図 5-20 に示す。それぞれの測定値とも９９%を上回って達成している結果が得られた。

５．２．２．２　出荷量(関空１期との対比)の検証

出荷量について本システムを適用工事で運用した場合の効果を図 5-19 に示す。このうち、図 5-21(a)は１期工事(従来施工と呼ぶ)の１日あたりの生産量、施工期間 は 1988 年 10 月～1990 月 7 月(Ｉ期工事の最盛期)と図 5-21(b) は２期工事(施工 CALS)の１日あたりの生産量、施工期間 2000 年 4 月～2001 月 3 月間 12 カ月の２期工事の最盛期の出荷量(表 5-9)を示す。



(a) 1 期工事実績　　(b) 2 期工事実績

図 5-21　1 日あたりの出荷量(1 期と 2 期工事の対比)

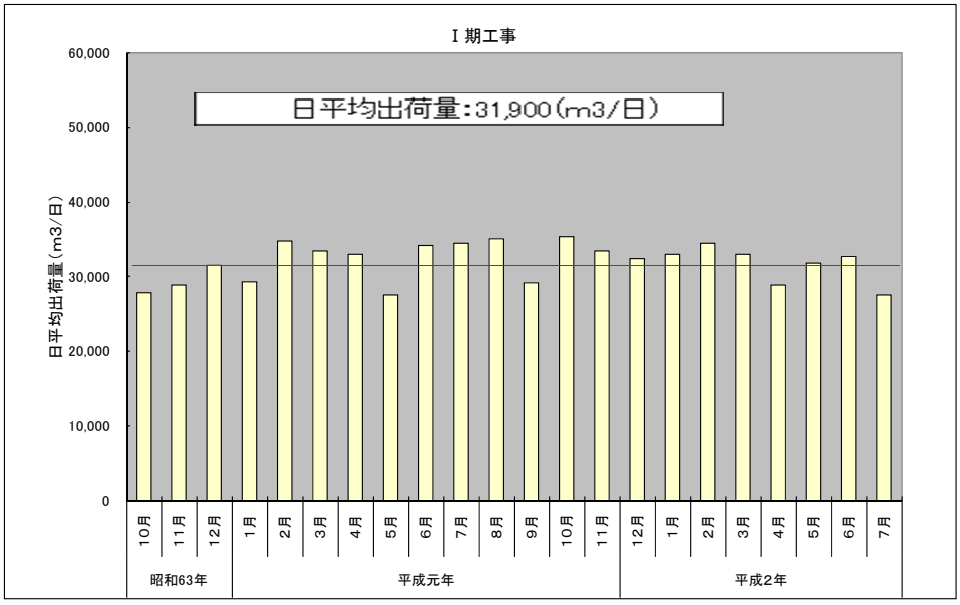


図 5-22　関空 1 期(1988 年 10 月～1990 年 7 月)最盛期の出荷実績

図 5-21 は関西国際空港の 1 期工事の際に用いられていた機械と施工法を用いる場合（従来工法と呼ぶ）を基準とし関空 2 期への適用工事で施工 CALS の運用とを比較した結果であり、1 年間の出荷量で 22%上回ったことを示す。図 5-23 で示すとおり，関空 2 期出荷当初の 1 年間(2000 年 4 月～2001 年 3 月)では、日出荷量で平均 40,214m³/日を出荷し、平均 8,314m³/日の増量となった。 1 期の最盛期の出荷実績に対して 26%の増加を図ったことを示している。

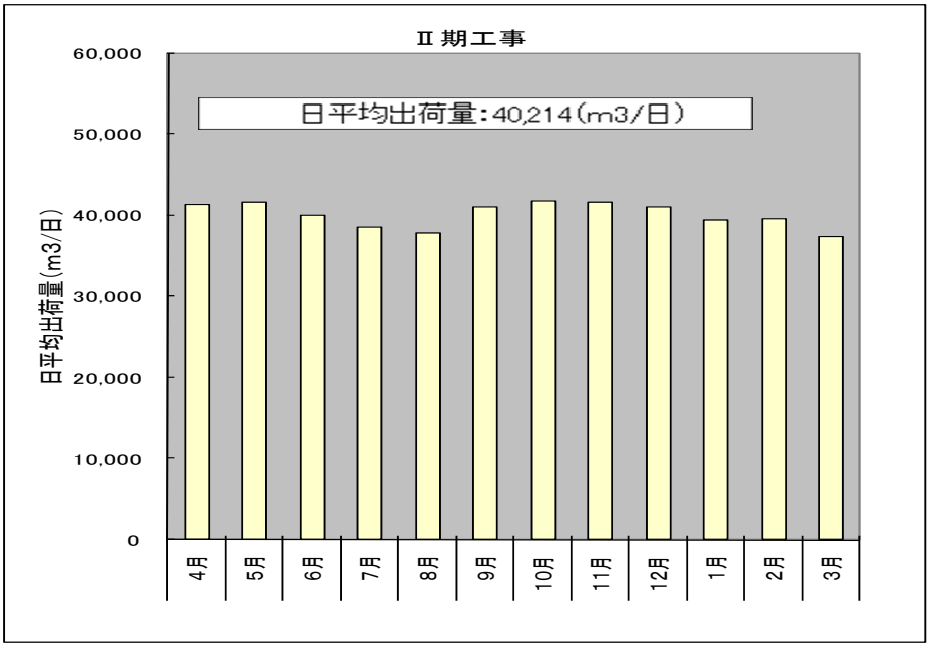


図 5-23　関空２期(2000 年４月～2001 年３月)着工最盛期の実績

また、1 日出荷量の最大値は、46,000m³を記録(表 5-9)した。この最大出荷量はベルトコンベアの最大能力での稼働の実施を示すものであり、採土～船積み～土運船～関空海域の施工までの山と海の全域の協働の実現を意味するものである。その理論最大量は 46,600m³/日であることより最大値の９９％の稼動を示しており、土運船の１隻積込み最低量が 2,200m³程度であることを考え合わせると、就航船舶の調整（関空海域、関空施工協力会、船会社など）と採掘地双方の稼動の噛み合いと船運搬と採掘する山側双方の稼働の信頼度の高さをを示している。採掘地の稼動への信頼度のが高さは、施工 CALS による高度情報化施工の定着による成果を示している。

表 5-9　関空１期と２期の最盛期出荷量の比較集計

施工	時期	施工法	一期(100)との比較	一日出荷量	
1期工事実績	昭和63年7月～22ヶ月間	従来工法	100	31,900	m³／日
2期工事実績	平成12年4月～30ヶ月間	施工CALS	122	38,783	m³／日
2期工事最大		施工CALS最大値	144	46,000	m³／日

年間出荷量についても、関空１期(1988 年 10 月～1987 年 7 月を年間換算すると 7,925 千 m³/年)最盛期の出荷量と比較(図 5-22)すると、関空２期 24 ヵ月(2000 年 4 月 2002 年 3 月)の実績は 20,981 千 m³であり年間換算すると 10,491m³/年となり稼動日を考慮すると 23.6%の出荷量の増加となった。

５．２．３　採土工の重機全体配置の検証[23)]

採土工事の重機の稼働実績について、実績作業能力、理論作業能力と関空１期の稼働実績の比較を行い、施工 CALS の適用による重機の稼働効率を積込み重機と運搬重機のそれぞれについて、配置と稼働の両面より検証する。検証した項目は次の通りである。

(1) 積込み機の検証

① バックホウ積込み理論値と実測値の比較

② ホイールドーザ積込み理論値と実測値の比較

③ 実績作業能力

④ サイクルタイムの検証

⑤ 作業効率の検証

(2) 運搬機の検証

①実績作業能力

②作業効率の検証

(3) 燃料消費率の検証

①実績燃料消費率とメーカー想定値との比較

②改造を控除した実績燃料消費率とメーカー想定値との比較

③出荷土量による実績燃料消費量

④運搬効率の検証)

５．２．３．１　積込み機と運搬機の作業能力よりの検証

積込み機と運搬機の理論作業能力を国土交通省、重機メーカーとハザマの標準数値より算出し、実績作業能力と比較することより施工 CALS 適用による重機の稼動効率の効果を検証する。本章では、検証部分を抽出記載し高度情報化施工と施工 CALS の適用による効果の

５．２．３．１．１　積込み機の作業能力の検証

(１)バックホウ（13.5m^3）の積込み理論値と実測値の比較

表 5-10 に計算した積込み理論値と実績、図 5-24 に重機別積込みの時系列実績と平均値を示す。表 5-11 に積込み効率値 E の実績と理論値の比較を示す。

表5-10　積込み理論値と実測結果

土岩分類	実測値			理論値		
	積込能力Q(m^3/h)	ﾊﾞｹｯﾄ係数K	ｻｲｸﾙﾀｲﾑ Cm(秒)	積込能力Q(m^3/h)	ﾊﾞｹｯﾄ係数K	ｻｲｸﾙﾀｲﾑ Cm(秒)
土砂・軟岩Ⅰ	1,155	1.323	35	1,208	1.050	30

軟岩Ⅱ	1,017	1.132	34	944	0.900	30
硬岩	769	0.900	34	672	0.800	30

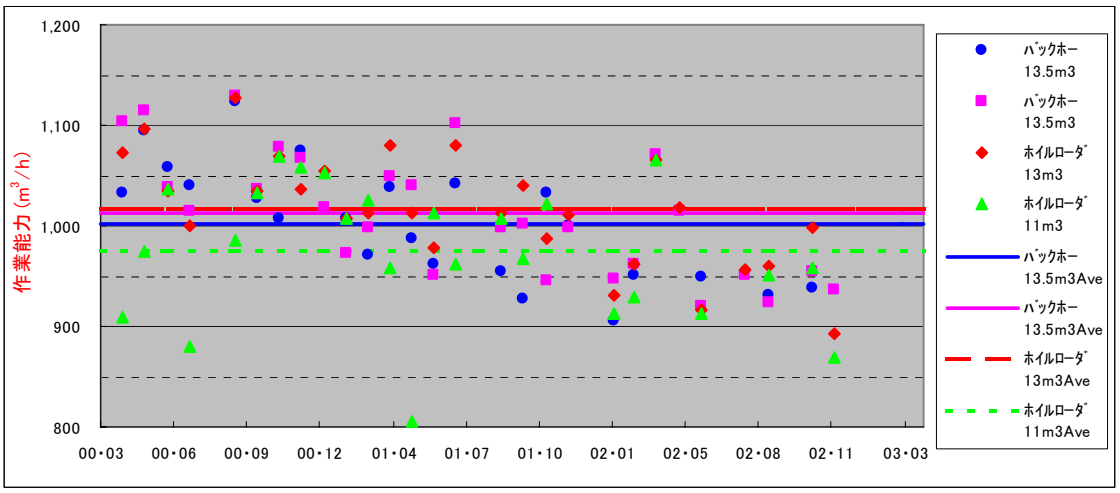


図 5-24　掘削積込実績

表5-11　積込み効率値Eの実績と理論値の比較

(バックホウ13.5m³)

土岩分類	実績効率値 E	理論値
土砂・軟岩Ⅰ	**0.641**	0.725(普通)
軟岩Ⅱ	**0.534**	0.550(普通)
硬岩	**0.461**	0.400(不良)

(2) ホイルローダ（13.0m³）の積込み理論値と実測値の比較

表 5-12 に理論値の積込み能力、バケット係数とサイクルタイムの実績値の比較を、表 5-13 に積込み効率値 E の実績と理論値の比較を示す。

表5-12　実績と理論値の比較　　(ホイールローダ　13.0m³)

土岩分類	実測値			理論値		
	積込能力 (m³/h)Q	ﾊﾞｹｯﾄ係数K	ｻｲｸﾙﾀｲﾑ Cm(秒)	積込能力 Q(m³/h)	ﾊﾞｹｯﾄ係数K	ｻｲｸﾙﾀｲﾑ Cm(秒)
土砂・軟岩Ⅰ	1,105	**1.272**	41	824	1.025	40
軟岩Ⅱ	895	**1.091**	43	568	0.850	40

表5-13　積込み効率Eの実績と理論値の比較（ホイールローダ　13.0m³）

土岩分類	実績効率値 E	理論値
土砂・軟岩Ⅰ	**0.720**	0.650(普通)
軟岩Ⅱ	**0.594**	0.450(普通)

(3) 積込み機の実績作業能力の検証

①バケット係数 K の検証

理論値と比較すると同等～最大約 30%増し、土砂積込みの実績では表 5-14 となる。

ⅰ. バックホウ　平積み×**1.274** ＝ 山積み

ⅱ. ホイルローダ　平積み×**1.182** ＝ 山積み『新 JIS 規格』

表 5-14　積込み実績と理論値の比較

	実測値		理論値		
	積込土量 m³	ﾊﾞｹｯﾄ係数 K	山積容量 m³	平積容量 m³	ﾊﾞｹｯﾄ係数 K
ﾊﾞｯｸﾎｳ	**14.0**	**1.323**	13.5	10.6	1.274
ﾎｲﾙﾛｰﾀﾞ	**14.0**	**1.272**	13.0	11.0	1.182

ⅲ. バックホウでは、**14.0m³** / 13.5m³（実積込土量 / 山積み土量）より**3.9%増**となる。

ⅳ. ホイルローダでは、**14.0m³** / 13.0m³（実積込土量 / 山積み土量）より**7.6%増**となる。

積込み実績はⅲ～ⅳより、実績は『新JIS』山積み量を上回る積込み土量となったが、土砂の積込み時における作業能力は、少なくとも『新JIS』山積みで算出できる事を示した。

② サイクルタイム Cm の検証

バックホウ理論値30秒に対し34～35秒 ホイルローダ理論値40秒に対し41～43秒であった。これは、大型重機の採用に加え、バケットを標準のものより大きくした事による。

③ 作業効率 E の検証

ⅰ. バックホウの作業効率 E の検証

作業効率 Eの理論値に対し、土砂・軟岩Ⅰは12%減(=1-0.641/0.725)となり、軟岩Ⅱは3%減(=1-0.534/0.550)、硬岩は逆に15%増(=1-0.461/0.400)となった。一方で、土砂～硬岩全てにおいて作業効率が普通～不良の中間値となった事は、同一ベースマシンでバケットのみを大きくしたバケット容量の改造が大きく影響している。但し、作業効率値が理論値に比べ低下しているものの、実掘削土量は増加しており、バケット改造は有効な手段であったと言える。今後、同様の改造を行っての作業能力を算出する際には、作業効率・サイクルタイムの補正が必要となる。

ⅱ．ホイルローダの作業効率 E の検証

理論値に対し11%増(=1-0.720/0.650)～32%増(=1-0.594/0.450)となった。適用工事では土砂・軟岩（一部発破）を95t級大型ブルドーザにてリッピング・集土し、大塊は3,250kg級専用大型ブレーカにて小割りした物を積み込む為、ホイルローダ自体の補助作業は基本的にはゼロであり軟岩Ｉでは土砂同様であった。バックホウは掘削・積込機であるのに対して、ホイルローダは積込専用機の為に、ルーズな土砂に対する積み込みに関してはバックホウ同等か、それに近い能力が期待出来る。しかし、地山、又は軟岩・硬岩となると、極端に作業能力が低下する事は明らかである。ブルドーザ等の補助機械の活用により、作業効率が大きく向上し、適応条件が幅広くなる事が実証された。ホイルローダの機動力に加え、バックホウと同等の作業能力（バケット容量）であればコスト的に有利であるという長所を考慮し、今後の重機の選定を行う必要がある。

５．２．３．１．２　運搬機の作業能力の検証

(1) 運搬機の理論作業能力と実績作業能力の検証

①算出した理論運搬能力 Q(Lm³/h)を以下に示す（表5-15)。

表 5-15 理論運搬能力（Lm³/h)

運搬距離	ｻｲｸﾙﾀｲﾑ	運搬量(m³/h)		
L(m)	Cm＝4.0L+α(min)	土砂	軟岩	硬岩
890	11.6	**294**	**251**	**279**
土岩分類による加重平均		**274**		

②全工程における運搬機の運搬実績

積込機同様に、2000 年 3 月 ～ 2003 年 4 月において月稼働時間 200 時間を超えた機械より算出した。平均作業実績は、399 m³/h(図 5-25)を得た。積込機と同様に施工上、採土した物の土岩分類判別が不明瞭な為、土岩分類を考慮した（ pp34 表 3-1 参照）理論運搬能力の加重平均にて検証する（表 5-15 参照)。土岩分類による加重平均による運搬実績は、274 m³/h を得た。実績積込み能力を検証すると、平均積込実績 / 理論積込能力は、146%(=399/274)となり、実績が理論能力を上回る結果を得た。

(2) 運搬サイクルタイム（min)の検証

運搬サイクルタイムの計算による理論値と測定した実測サイクルタイムの比較を表5-20に示す。また、表5-21に実績効率値と理論値の比較を示す。

表5-16　運搬サイクルタイム

平均運搬距離 890m	実　測　値（min）	理　論　値（min）
走行（min）	**2.81**	3.56
速度（km/h）	**38.0**	30.0
積込/排出等（min）	**3.83**	8.00
合計 ｻｲｸﾙﾀｲﾑ Cm（min）	**6.64**	11.56

表5-17 運搬サイクルタイムの
実績効率値と理論値の比較

実績効率値 E	理論値
0.789	0.900

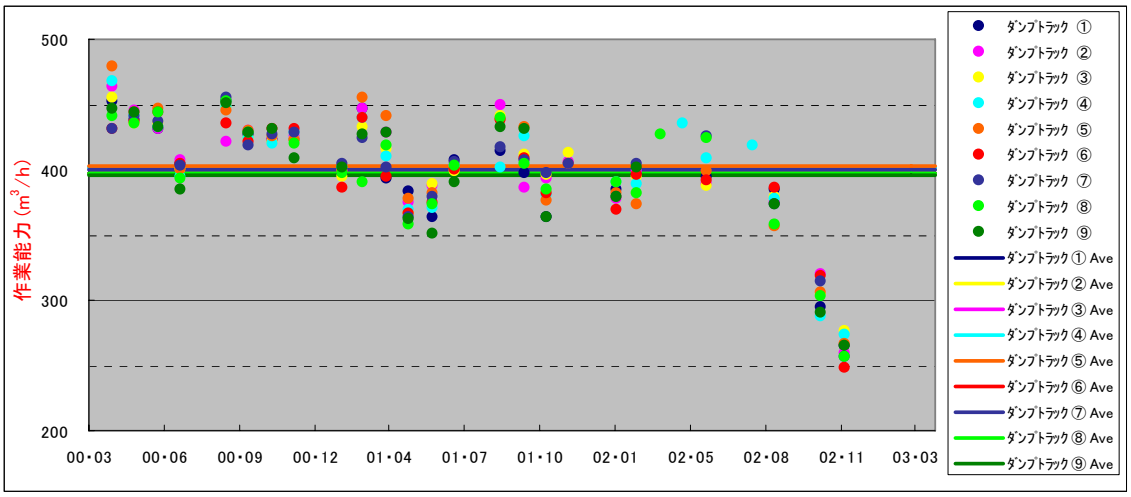


図 5-25　運搬実績

(3) 運搬機械の実績作業能力の検証

①積載容量 q・f の検証

ダンプトラックへの積み込み量は重量換算が原則であるが、採土現場等の公道を走行しない場合は、体積換算を基本として算定する。重機メーカ（コマツ）の重量指定は 20%以内となっており、当現場においては運搬容量：56m³　運搬重量:100t とした。尚、ベッセルの容量を改造し、荷こぼれを減らした。40m³ / 60m³ → 48m³ / 67m³（平積み/山積み）

②サイクルタイム Cm の検証

実績では、理論値を約 40%も短縮する事が出来ている。運搬時のサイクルタイム短縮には、走行時間及び、積込/排出時間の短縮が必要とされる。特に、運搬距離が数 km にでも

及ばない限り、走行時間よりも積込/排出時間がｻｲｸﾙﾀｲﾑ全体に及ぼす影響が大きく、これを短縮する事がサイクルタイム低減に大きくつながると言える。

サイクルタイムを検証する為、Cm を以下のように区分する。

Cm = T1+T2+T3+T4+T5+T6

T1：積込サイクルタイム×積込回数

T2：ダンプトラック位置決め時間

T3：（積車）走行時間

T4：方向転換・ダンプ時間

T5：（空車）走行時間

T6：ダンプトラック積込待機時間

と分けることができ、走行時間　　= T3+T5

積込/排出　α　= T1+T2+T4+T6　となる。

走行時間：理論式ではダンプトラックの走行速度を**30km/h**となるが、現場の条件によって速度は向上する。

ⅰ．運搬走路を直線化し距離を短くすると共に、実車での下り勾配（5.0%以下）となるように緩やかにした。

ⅱ．走路幅も50mと余裕を持たせ、散水車と大型グレーダにて定期整備を行い、ダンプトラックの走行速度を維持出来るようにした。

ⅲ．燃料を灯油から低硫黄A重油に切り替えカロリーを向上させた。

ⅳ．大型ダンプトラックの採用にて現場内での稼働数を低減した事により走路上での輻輳緩和に繋がった。

ⅰ～ⅳの対策他により、運搬速度は平均**38km/h**を維持でき、運搬サイクルタイム短縮につながった。

積込/排出時間（α）：実績値

T1 = (35×4)/60 = **2.33**

T2 = 30/60 = **0.50**

T4 = 60/60 = **1.00**

T6 = 0.00

∴　α = T1+T2+T3+T5 = **3.83**

ちなみに、ハザマ機電部発信 2004 年度版 重機作業能力計算表では、α = **8.0** (90t 級)、ダム工事積算の解説:財団法人ダム技術センターでは、α = **14.0** である。

③作業効率 E の検証

実績値では理論値の 12%減(=1-0.789/0.900)となった。運搬作業能力の算定の際、前述のα は積込み機に関係なく算定される。また、作業効率（E）についても、積込機と運搬機とを同等扱いとし 作業効率（E）= 0.9 としている。しかしながら、当現場のようにバックホウ・ホイルローダ等を改造している場合や、積込み・運搬において特別な条件が加わ

る際には、個別（積込時間および運搬時間）に検討する必要があると考える。

よって｛ Q＝60・q・f・E/Cm ｝を以下の式に置き換え、各係数を検証する。

Q＝60・q・f / (Cm1/E1 + Cm2/E2)

q・f: 積載容量（m^3）

Cm1：積込サイクルタイム（min）

E1 ：積込作業効率

Cm2：運搬サイクルタイム（min）

E2 ：運搬作業効率

上記の式に代入する係数には以下の数値を用いる。

Q ：実測値 **399**m^3/h

q・f: 実測値 積載容量 **56.0**m^3

Cm1：積込実績サイクルタイム

Cm1 = T1 = **2.33**

E1 ：積込作業効率

重機別に土岩分類を考慮した実績平均値

E1 = **0.604** （5.3.積込機の実績）参照

Cm2：運搬実績サイクルタイム

Cm2 = T2+T3+T4+T5+T6 = **4.31**

E2 = Cm2 / (60・q・f / Q - Cm1 / E1)より

表 5-18 運搬実績と理論値の比較

運搬 実績効率値 E2	理論値	積込 実績効率値 E1
0.944	0.900	0.604

積込と運搬の個別検討を行うと、運搬(ダンプトラック 91ｔ)の作業効率は理論値に対し4.9%増(=1-0.944/0.900)となった。実際は運搬機と積込機との作業効率の値に差があり、作業効率値の標準を算定する事が難しくなる場合には、以下に示すように、作業効率を積込と運搬に分けて計算する。

ⅰ. 搬土量 体積換算で行う（**重量 20%以内)。**

ⅱ. 作業効率 運搬と積込とを分けて計算する。

作業効率（運搬） **0.9**

作業効率（積込） **実機ベースで算定**

ⅲ. サイクルタイム 積込時間 **実機ベースで算定**

走行速度 **実機ベースで算定**

ダンプトラックの位置決め **0.5 分**

ダンピング・方向転換　**1.0 分**
積込ダンプ待機時間　**0.0 分**　とする。

５．２．３．２　重機の燃料消費率

５．２．３．２．１　標準燃料消費率の算出

重機毎のエンジン定格出力（表5-19参照）、標準燃料消費率（表5-20参照）を以下へ示す。尚、土木工事積算基準での燃料消費率の標準値は、日常保守点検に必要な油脂・消耗品“エンジンオイル･ギヤオイル・ハイドロリックオイル・グリス等”を含む為、油脂・消耗品の燃料換算経費を約2割とし、土木工事積算基準で示された燃料消費率を1.2で除した数値を補正値として用いる。本手法は、日本建設機械化協会の建設施工における地球温暖化対策の手引きを参考とした。

表 5-19 エンジン定格出力表

重機名称	仕様		ｴﾝｼﾞﾝ定格出力(kW)
ﾌﾞﾙﾄﾞｰｻﾞ	D475A-3 D11R	95t級	642 634
	D375A-3	63t級	391
	D65EX	18t級	140
ﾊﾞｯｸﾎｰ (ﾌﾞﾚｰｶ)	EX1800 PC1600	13.5m^{3}級	672(336*2) 632(316*2)
	345B	2.0m^{3}級 3250kg級	239
	PC/EX200	0.7m^{3}級	99
ﾎｲﾙﾛｰﾀﾞ	992G	13.0m^{3}級	597
	WA800	11.0m3級	603
	WA100	1.2m^{3}級	63
ﾀﾞﾝﾌﾟﾄﾗｯｸ	HD785-3/5 777D	91t級	753 699
ﾓｰﾀｰｸﾞﾚｰﾀﾞ	16H	4.9m	198/213
散水車	773B	30t	485
		10t	213

表5-20 燃料消費率 (l/kW-h)：土木工事積算基準より

	標準 (l/kW-h)	補正値 (l/kW-h)
ﾌﾞﾙﾄﾞｰｻﾞ・ﾊﾞｯｸﾎｰ・ﾌﾞﾚｰｶ	0.175	0.146
ﾎｲﾙﾛｰﾀﾞ	0.153	0.128
建設専用ﾀﾞﾝﾌﾟﾄﾗｯｸ	0.085	0.071
ﾓｰﾀｰｸﾞﾚｰﾀﾞ 4.9m	0.108	0.090

散水車 30t	0.085	0.071
散水車 10t	0.050	0.042

重機メーカ（コマツ）の想定燃料消費率を以下に示す。（表5-21参照）

表5-21 重機メーカ想定燃料消費率（l/kW-h）

※参考	作業条件(l/kW-h)		
	良好	普通	過酷
ﾌﾞﾙﾄﾞｰｻﾞ 63～95t級	0.116	0.139	0.161
ﾊﾞｯｸﾎｰ 13.5m³級	0.125	0.133	0.155
ﾎｲﾙﾛｰﾀﾞ 11.0～13.0 m³級	0.110	0.129	0.171
ﾀﾞﾝﾌﾟﾄﾗｯｸ 91t級	0.054	0.070	0.099

重機メーカーの想定燃料消費率は作業条件によって燃料消費率に幅をもたせており、土木工事積算基準の補正値は“普通”の値と同等となっていることが分かる。

５．２．３．２．２　実績燃料消費率

2000 年 3 月 ～ 2003 年 4 月において月稼働時間 200 時間を超えた機械より算出した。平均実績値を以下表 5-22 に示す。

表 5-22 燃料消費率（l/kW-h）実績

重機名称	仕様	補正値(l/kW-h)	実績(l/kW-h)	割合
ﾌﾞﾙﾄﾞｰｻﾞ	95t 級	0.146	0.165	113.1%
	63t 級	0.146	0.163	111.8%
ﾊﾞｯｸﾎｰ (ﾌﾞﾚｰｶ)	13.5 m³級	0.146	**0.219**	**150.2%**
	2.0 m³級	0.146	0.118	80.9%
	0.7 m³級	0.146	0.155	106.3%
ﾎｲﾙﾛｰﾀﾞ	11.0～13.0 m³級	0.128	**0.168**	**131.8%**
	1.2 m³級	0.128	0.047	36.9%
ﾀﾞﾝﾌﾟﾄﾗｯｸ	91t 級	0.071	0.071	100.2%
ﾓｰﾀｰｸﾞﾚｰﾀﾞ	4.9m	0.090	0.076	84.4%
散水車	30t	0.071	0.064	90.4%
	10t	0.042	0.042	100.8%

表 5-22 より、バックホウはベースマシンをそのままにバケットを大型の物へと改造し、作業能力を向上させた事もあり燃料消費率の補正値を 50%以上も上回る。バックホウ・ホ

イルローダに関して、改造前（標準機仕様）の燃料消費率を作業能力比率より補正して推定すると、作業能力より

表 5-23　理論作業能力との差異

ﾊﾞｯｸﾎｰ	ﾊﾞｹｯﾄ容量（山積み）m³	作業能力（理論）m³/h	差分
改造前	11.0	781	124.7%
改造後	13.5	974	

表 5-24　理論作業能力との差異

ﾎｲﾙﾛｰﾀﾞ	ﾊﾞｹｯﾄ容量（山積み）m³	作業能力（理論）m³/h	差分
改造前	12.3	634	105.8%
改造後	13.0	671	

実績/差分の計算結果を表 5-25 に示す。その結果はバックホウ・ホイルローダともに標準値の約 20～25%増しとなった。

表 5-25　推定燃料消費率

重機名称・仕様	推定燃料消費率(l/kW-h)	割合
ﾊﾞｯｸﾎｰ 13.5m³級	0.176	120.7%
ﾎｲﾙﾛｰﾀﾞ 13.0m³級	0.159	124.7%

各重機の機能別に実績値を主要大型重機について標準値と比較について以下 1～4 に示す。

1. ブルドーザ（63・95t 級）→ 10%増
2. バックホウ　（13.5m³級）　→ 50%増（改造前推定 20%増）
3. ホイルローダ　（13.0m³級）　→ 30%増（改造前推定 25%増）
4. ダンプトラック(91t 級）→ 同

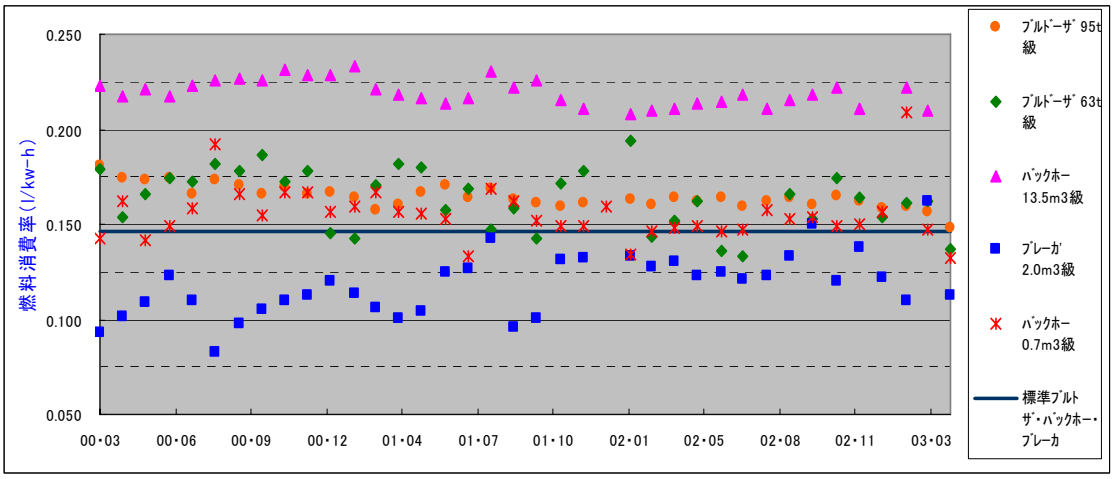


図 5-26　燃料消費率 実績　ﾌﾞﾙﾄﾞｰｻﾞ・ﾊﾞｯｸﾎｰ・ﾌﾞﾚｰｶ：補正値 0.146

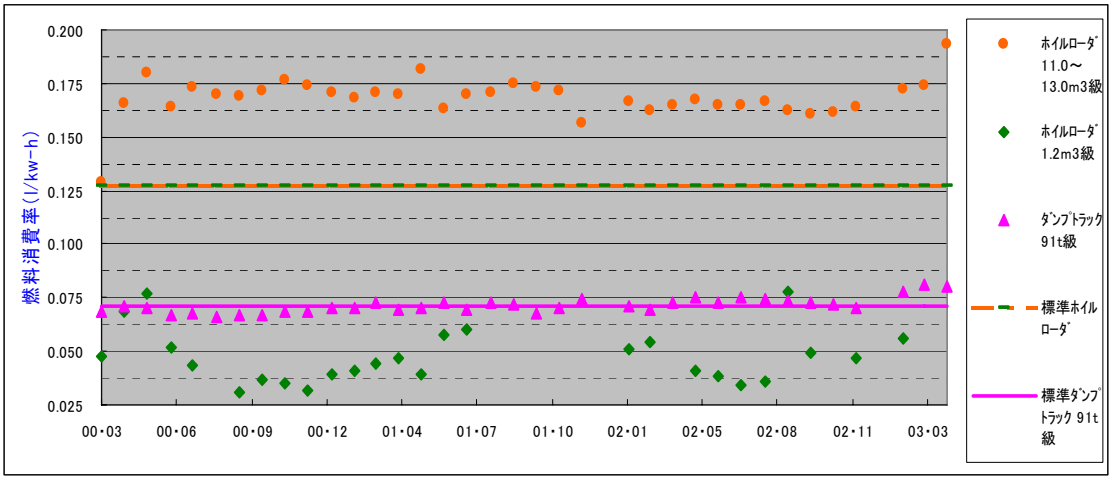


図 5-27 燃料消費率 実績　ﾎｲﾙﾛｰﾀﾞ：補正値 0.128　ﾀﾞﾝﾌﾟﾄﾗｯｸ：補正値 0.071

５．２．３．２．３　重機毎の燃料消費量への考察

以下の(1)と(2)で積込み機と運搬機について考察した。

(1) ブルドーザ・バックホウ・ホイルローダの燃料消費量の検証

燃料消費は重機の作業条件に直結する。実績値は、当現場の集土・掘削・積込作業が連続的且つ、過酷な条件下で施工された結果を反映している。燃料消費の増加に伴い燃料コストが増加したが、重機の作業能力を向上させることによって必要台数を抑え、重機作業全体のコストを圧縮する事が出来たと言える。

(2) ダンプトラック の燃料消費量の検証

積込機との組み合わせの中で能力を発揮しつつ、運搬走路の改善・補修整備によって燃料消費を抑える事が出来たと言える。

５．２．３．３　出荷土量による実績燃料消費量（ 一期実績との対比 ）

出荷土量 1m³ 当たりの燃料消費量を以下に示す。1m³ 当たりの燃料消費量の算定は、算定期間の稼働重機の総燃料消費量と出荷土量 (l/Lm³)より求める。その効率を稼働重機の総燃料消費量を出荷土量で除した数値で表し、単位はリッター/ルーズ m³(l/Lm³)となる。

得られた実績数値は、

(1) 関空Ⅰ期工事

平成 元年度実績は 0.575 l/Lm³、昭和 63 年 10 月から平成 2 年 3 月の関空 1 期の最盛期の実績は 0.568 ﾘｯﾄﾙ/ Lm³ であった。

(2) 関空Ⅱ期工事

平成 12 年度実績 は 0.447 ﾘｯﾄﾙ/Lm³、平成 12 年 1 月から平成 12 年 3 月は 0.493 ﾘｯﾄﾙ/Lm³、平成 12 年 4 月から平成 13 年 9 月は 0.453 ﾘｯﾄﾙ/Lm³ であった。以下図 5-28 に比較図を示す。ただし油種は関空 1 期が灯油、関空 2 期は低硫黄の重油を使用している。

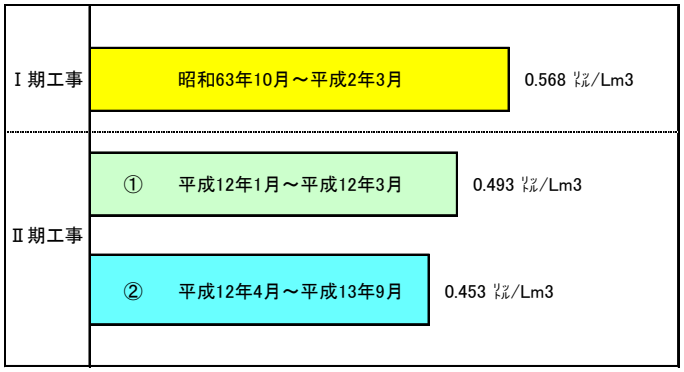


図 5-28　全重機の出荷量当たり燃料消費量(関空１期と２期)

尚、関空Ⅰ期工事においては灯油を使用していた為、燃料の密度より灯油からＡ重油へ換算する（表 5-26 参照）。Ⅱ期工事では大型重機を採用した事と、連続的且つ過酷な条件下で施工された為に、燃料消費量は増加したが、重機作業能力の向上・施工方法の改善によって生産性が向上し、結果として出荷土量 1m³ 当たりの燃料消費量を抑える事が出来たと言える。

５．３．３．４　運搬効率の検証

発破、集土、積込みの上流工種を含めた採掘全体の効率化が図られたかの検証を行うものであり、全体の配置された重機類の一年間(2000 年 4 月～2001 年 3 月)の稼働時間と重機の馬力を乗じた ps・Hr を求める(表 5-26)。そして、その間の出荷量(10,995,500Lm³)を ps・Hr で除した関空 2 期の年間(2000 年 4 月～2001 年 3 月)ps・Hr 当たり出荷量(B)と関空 1 期の ps・Hr 当たり出荷量(A)を比較するものである。ただし、関空 1 期と関空 2 期の地山と工法の差異とを除外するために、全体とブルトーザを省いた ps・Hr で比較する。

表 5-26　馬力・時間当たりの出荷量　平成 12 年度（2000.4～2001.3）

機械種類	型式	番号	馬力(ps)	運転時間(hr)	ps・hr
集土機械	D475	501	872	2, 363. 0	2,060,536
		502	872	2, 348. 00	2,047,456
	D11R	22	781	3, 091. 5	2,414,462
		23	781	3, 106. 5	2,426,177
	D375	303	515	2, 771. 3	1,427,194
		307	515	2, 590. 0	1,333,850
積込機械	PC1600		820	2, 970. 0	2,435,400
	EX1800		912	2, 950. 0	2,690,400
	992G		811	2, 984. 8	2,420,632
	WA800		800	2, 864. 5	2,291,600
運搬機械	HD785	91	1024	2, 886. 5	2,955,776
		92	1024	2, 899. 5	2,969,088
		93	1024	2, 868. 5	2,937,344
		95	1024	2, 870. 3	2,939,136
		96	1024	2, 944. 3	3,014,912
		301	1024	2, 870. 8	2,939,648
		302	1024	2, 873. 5	2,942,464
	777D	303	951	2, 827. 3	2,688,715
		305	951	2, 889. 8	2,748,152
	HD785(78t)		994	2, 672. 3	2,656,217
計					50,339,158

ブル抜き
38,629,484 hr

P×hr の算定と関空 1 期との比較をすると、

平成12年度出荷量　10,995,500 Lm3

ps・hr当たり出荷量(B)	0.218 Lm3／ps・hr	0.285 Lm3／ps・hr
1期(平成元年)との比較 平成元年ps・hr当たり出荷量(	0.203 Lm3／ps・hr	0.251 Lm3／ps・hr
生産性アップ率（B／A－1）	7.6%	13.4%

2000 年度(2000 年 4 月～2001 年 3 月)では、生産性は全体で 7.6%、ブルトーザ抜きで 13.4%の向上となった。

表 5-27　馬力・時間当たりの出荷量　平成 12 年度（2001.4～2001.10）

機械種類	型式	番号	馬力(ps)	運転時間(hr)	ps・hr
集土機械	D475	501	872	1, 670. 0	1,456,240
		502	872	1, 750. 50	1,526,436
	D11R	22	781	1, 768. 0	1,380,808
		23	781	1, 780. 3	1,390,375
	D375	303	515	678. 5	349,428
		307	515	1, 614. 0	831,210
積込機械	PC1600		820	1, 737. 8	1,424,955
	EX1800		912	1, 659. 3	1,513,236
	992G		811	1, 739. 8	1,410,937
	WA800		800	1, 624. 8	1,299,800
運搬機械	HD785	91	1024	1, 650. 3	1,689,856
		92	1024	1, 689. 5	1,730,048
		93	1024	1, 696. 5	1,737,216
		95	1024	1, 667. 0	1,707,008
		96	1024	1, 723. 5	1,764,864
		301	1024	1, 666. 3	1,706,240
		302	1024	1, 665. 6	1,705,554
	777D	303	951	1, 663. 0	1,581,513
		305	951	1, 671. 5	1,589,597
	HD785(78t)		994	1, 810. 3	1,799,389
計					29,594,709

ブル抜き
22,660,212 hr

平成13年度出荷量　6,112,243 Lm3

ps・hr当たり出荷量(B)	0.207 Lm3／ps・hr	0.270 Lm3／ps・hr

1期(平成元年)との比較		
平成元年ps･hr当たり出荷量(ﾉ	0.203 Lm3／ps･hr	0.251 Lm3／ps･hr
生産性アップ率（B／A－1）	1.7%	7.5%

2001 年度(2001 年 4 月～2002 年 3 月)では、生産性は全体で 1.7%、ブルトーザ抜きで 7.5%の向上となった。2 年間を通算すると、全体生産性は 5.4%、ブルトーザ抜きでは 11.1%の向上であった。生産性の向上率の差には、地山の変化(硬度の増加)と年間出荷量によるものである。

５．２．３．５　目標サイクルタイムの検証

(1) 目標サイクルタイム

積込み機の必要運搬量より目標サイクルタイムを以下のように設定した。

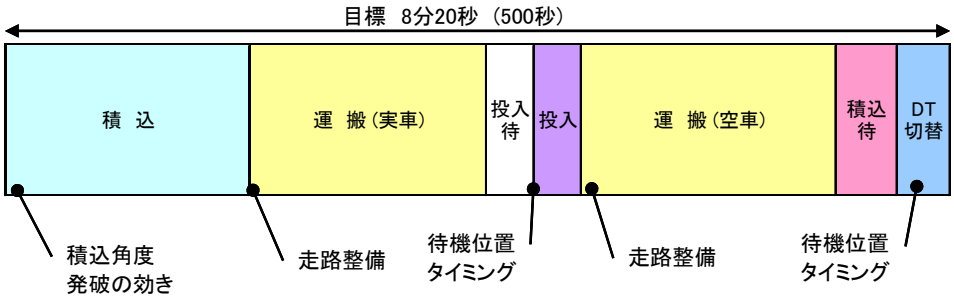


図 5-29　運搬機の目標サイクルタイム

(2) サイクルタイム収集・分析・短縮

重機の作業サイクルタイムを実測し、サイクルタイムの改善（短縮）の余地がないか否かを検討した。運搬機（ダンプトラック）、積込機の作業サイクルを構成する要素は図 5-30 の赤枠内に示す通りである。

(3) ダンプトラックの作業サイクル

運搬重量 110ｔ×9 台で 1 日 11 時間の稼動とし、出荷量を満たす為に必要な値を以下のようにそれぞれ算出した。この結果をもとに目標サイクルタイムを 8 分 20 秒（500 秒）と設定した。

7,000t/日÷11hr/日＝7,000t/hr　・　・　・時間採土量

7,000t/hr÷（110t/台×9 台）＝7.07 回/hr　・　・　・時間当り投入回数

60 分÷7.07 回/hr＝8 分 29 秒/回　・　・　・サイクルタイム

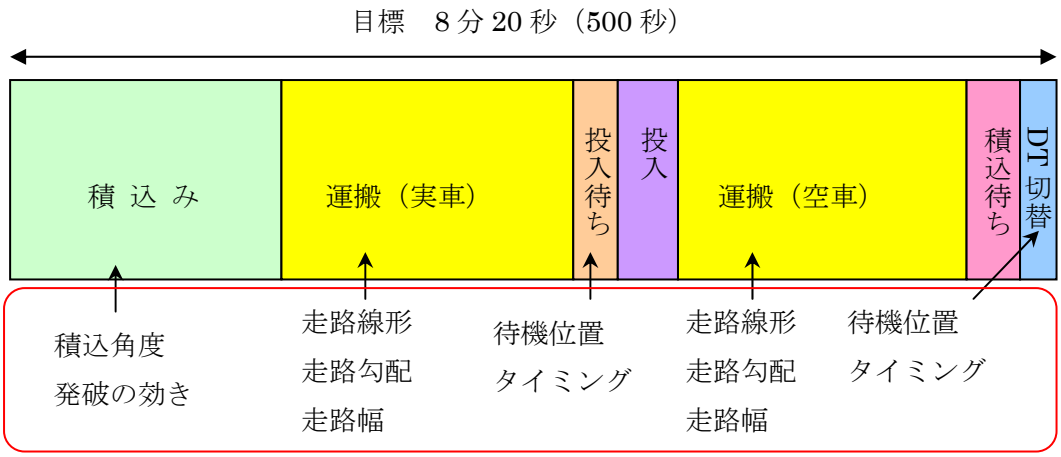


図 5-30　運搬機の目標サイクルタイムと要因

（4）積込み機械の作業サイクル（ＤＴ３台の場合）の目標

積込み機の目標サイクルタイムは、積込み 130 秒ダンプトラックの切替え時間を 35 秒とした。

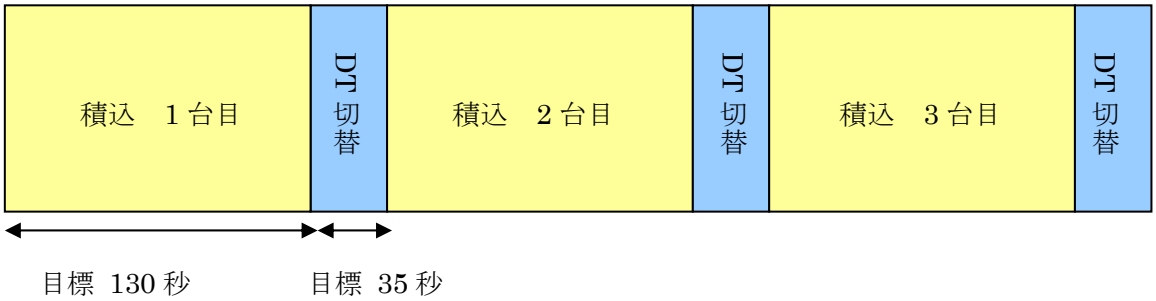


図 5-31　複数積込み機械の目標サイクルタイム

(5) サイクルタイム調査表によるサイクルタイムの実測

図 5-32 に示すサイクルタイム調査表を用い積込機械・運搬機械の作業サイクルタイムを実測した。作業サイクルタイムは 540 秒（9 分）で、目標より 40 秒時間がかかっている。その時間を短縮するため、サイクルタイムを構成する要素毎に目標値を設定した（表 5-39-1 左欄）。

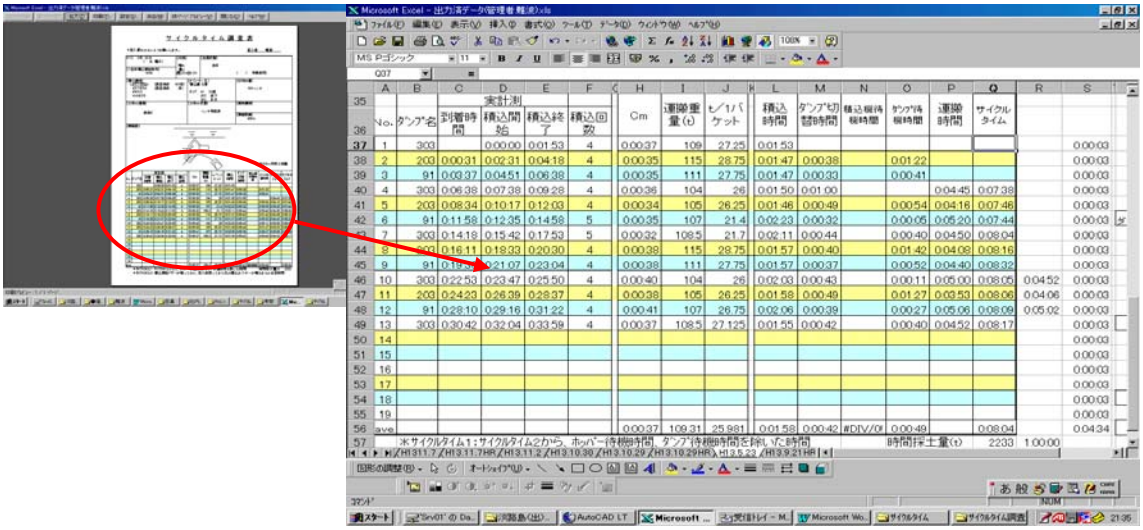


図 5-32　サイクルタイム調査表とサイクルタイム集計表

(6) サイクルタイム短縮への対策

関空２期本格稼働の初期段階では、目標サイクルタイムでの稼働へオペレータの教育を兼ねてサイクルタイム調査表を用い稼働状況を調査しながらサイクルタイムの改善へ取り組んだ。さらにサイクルタイムを短縮するため、以下 1)～3)に示すように 2000 年 6 月に走路整備、オペレータ教育などを行なった。

1) 積込時間の短縮　：実際に運転技術の高いオペレータの作業を全員で見る機会を設け、積込時の旋回角度・速度等を勉強し、技術的向上を図った。

2) ＤＴ切替時間の短縮：ＤＴ始動のタイミング・動き方を改善し、また待機位置を積込機に出来るだけ近く（50m 手前）した。

3) 運搬時間の短縮　：走路を直線化し、走路勾配を 5%以下と緩やかにし、走路幅も 30m から 50m に拡幅した。

(7) サイクルタイムの実績

サイクルタイム実績は表 5-28 に示すとおりであり、サイクルタイムは 60 秒の短縮することができ、時間当り採土能力が約 10%上昇した。残りの積込み時間とダンプトラックの切り替え時間のサイクルタイム短縮時間（30 秒）は走路整備に伴う運搬時間の短縮が大部分であると考えられる。

表 5-28　　サイクルタイム改善処置前後の比較

	2000年6月 走路改造、オペレーター教育前	2001年1～6月　平均	差
サイクルタイム目標500秒	540秒	480秒	60秒
積込時間　目標130秒	150秒	130秒	20秒
DT切替時間目標35秒	50秒	40秒	10秒
時間採土量（DT3台）	2,000t	2,250t	250t

５．２．３．６　施工 CALS により収集したサイクルタイムによる検証

採土工事の情報を施工 CALS により、多くのデータを自動収集し必要な情報に加工し、リアルタイムに配信している。採掘作業の管理者は、その必要な情報を把握しつつ採土作業の運営管理している。加工情報の中でも、ダンプトラックの運搬量異常時の原因究明と対策立案につながるダンプトラックのサイクルタイムは、重要なプロセス管理の項目である。積込み機械 1 台あたり、3 台～2 台のダンプトラックを配置しそのサイクルタイムが目標値を大きく上回っていないかを確かめている。図 5-33 のように、重ダンプ B が 50～70 秒上回っている場合などはダンプ稼働の原因を調査し、全体採掘量に影響ある場合は適切な対策を取る必要がある。この場合は、積込み切羽を運搬距離の近い個所に変更し採掘量の低下を防いだ事例である。

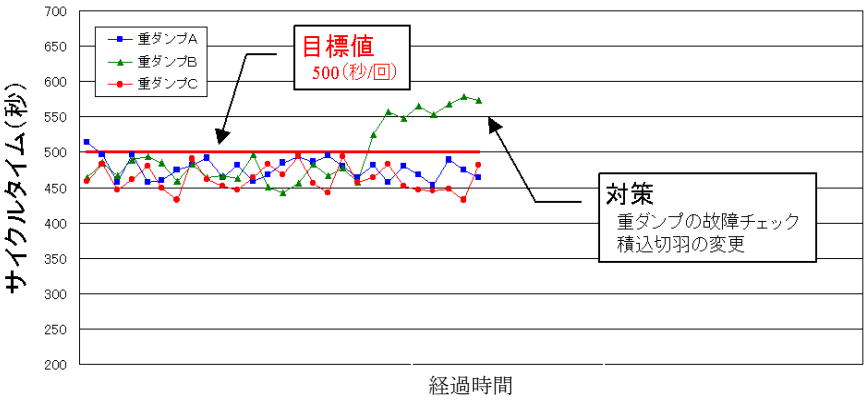


図 5-33　ダンプトラック運搬量の異常時のサイクルタイムデータによる検討例

このように得られた多くのサイクルタイムのデータを解析し効率的な採掘であることを検証する。検証に使用したデータは、2000 年 6 月～12 月の 6 か月のデータである。

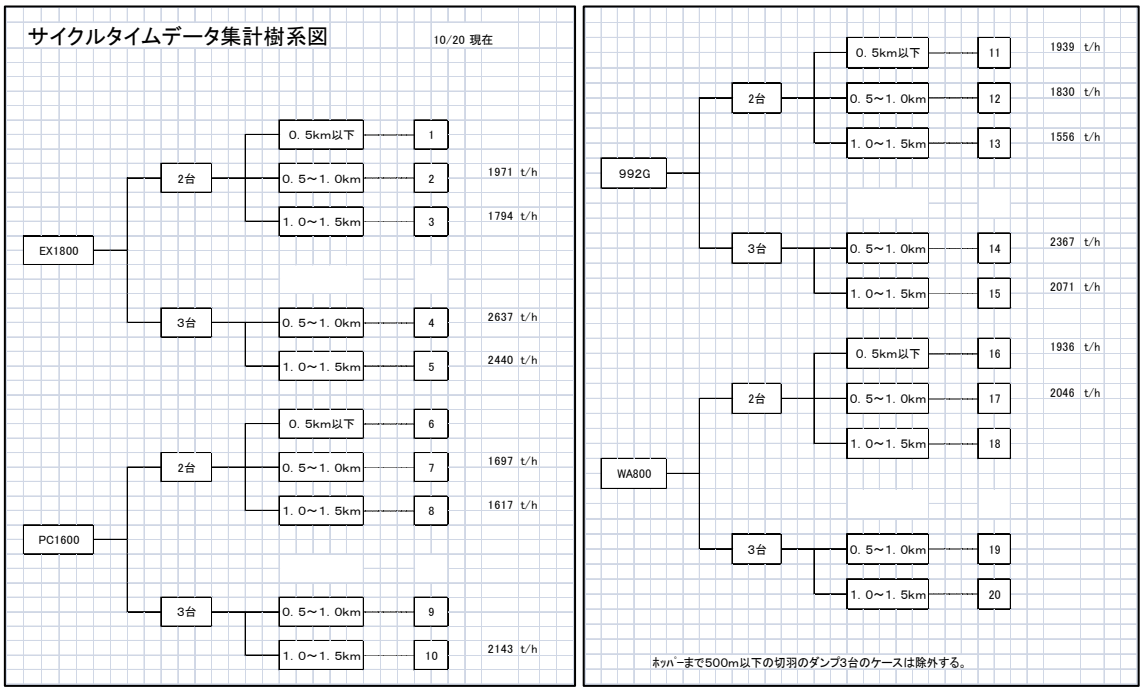


図 5-34　重機組合せ別サイクルタイム集計樹形図

図 5-34 に示す重機組合せ別サイクルタイム集計樹形図に基づき、積込み機、運搬ダンプトラック台数の組合せと運搬距離別にサイクルタイムを集計し、施工 CALS にて加工集計されたサイクルタイムを検証した。検討内容は巻末の添付資料としたので参照されたい。

５．２．３．７　測量から土量管理への作業の検証

測量、土量管理についての導入効果(表 5-8)には、(4)の測量業務の効率化については、従来６日／回であったものが本システム導入により 2 日／回と短縮したこと、(5) の土量管理業務の効率化も従来６日／回であったものが 2.5 日/回と短期間で実施できることを示した。

図 5-35　　土量管理作業の対比

地形測量を実施し、採取計画を検討し、採掘数量を算出し、集計し、帳票を作成する、

一連の作業の所要日数を導入以前の従来法と本システム導入後を比較すると図 5-35 となる。作業を比較すると従来法の 12.5 日より 5.5 日と 7 日間(56%)の短縮効果を得たが、本システムにより、既に 1 日の作業量の採掘箇所別採掘量を把握できており、その確認作業とも言える。そのため従来法と本工法導入後では、作業の密度、余裕、翌日以降の先行作業の準備等に差があるといえる。

５．２．３．８　発破量の検証

発破工については、5.1.5 データベースを活用した火薬使用量の合理化の項で弾性波、ノミ下がりなど地山の硬さなどの岩質のデータを活用し、火薬使用量、発破振動、発破騒音と低周波振動の低減への運用を事例で示した。重機の積込み量を基に発破方法を最適化する手法により適正かつ効率的な火薬量を使用することで、火薬使用量の最少化と環境負荷低減を図った。当初の従来工法による計画数値と施工 CALS 導入により得た実績を示すと表 5-29 となる。この比較集計表より，爆砕対象地山量については 3,777 千 m^3(21.5%)、火薬使用量については 1,935.7t(52%)の低減が示された。

表 5-29　当初計画予想(従来工法)と施工 CALS による
爆砕対象地山量と火薬使用量の実績数量による低減の比較

(1999.12.15～2002.12.31)

	発破数量（当初予想）	従来工法		発破数量（実績）	今回工法		使用量低減率
		発破係数	火薬使用量(A)		発破係数	火薬使用量(B)	
	(Lm3)	(kg／Lm3)	(kg)	(Lm3)	(kg／Lm3)	(kg)	1－B/A (%)
盤下げ発破	6,891,000	0.15	1,033,650	5,406,000	0.11	594,660	42%
ベンチ発破	10,689,000	0.25	2,672,250	8,397,000	0.14	1,175,580	56%
計	17,580,000	―	3,705,900	13,803,000	―	1,770,240	52%

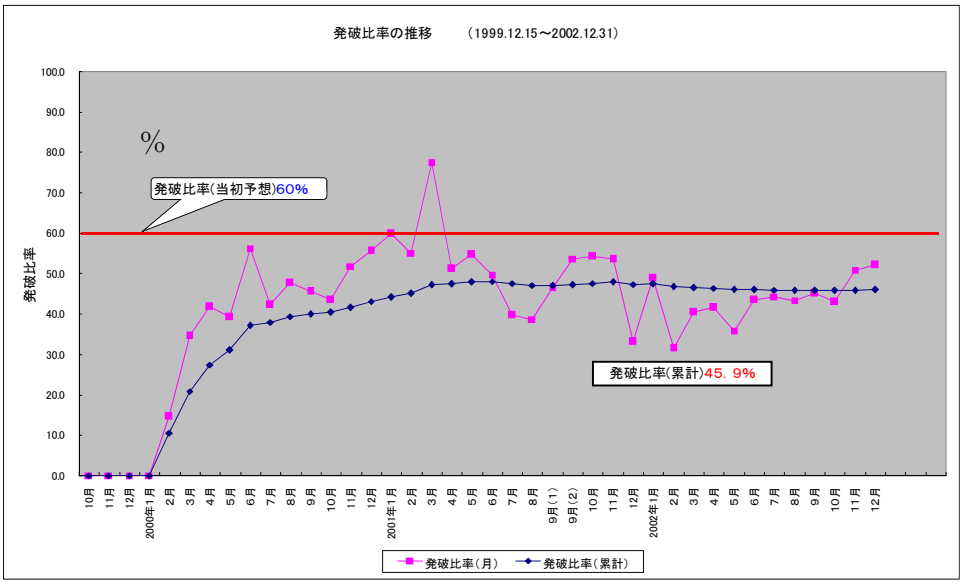


図 5-36　月次と累計爆砕対象地山量の比率

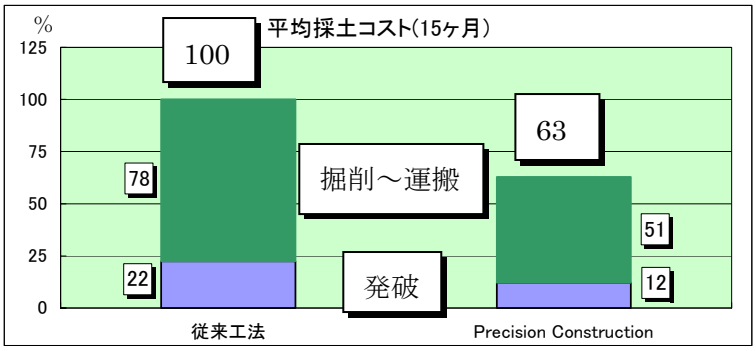
図 5-36 に 1999 年 12 月のより 2002 年 12 月までの関空 2 期採掘時の全採掘量に対する爆砕対象地山量の単月と累計の比率を示す。単月でのバラツキはあるものの、当初計画での予想値 60%を下回って採掘されていることを示している。

５．２．４　コスト低減に関する効果の検証

コスト低減に関する効果として、１期工事と２期工事の工事費の対比より検証した。

５．２．４．１　工事費用の検証

本システムを実施工で運用した場合の効果を図 5-37 に示す。図 5-37(b)は１ｍ^{3}あたりの採土コスト 、2000 年１月～2001 年３月の１５ヵ月の実績である。図 5-37(a)は、関空１期の際に用いられていた機械と施工法を用いる場合（従来工法と呼ぶ）を基準とし、適用工事で施工 CALS を運用した場合を比較した結果である。ただし、採土コストの算出においては物価の変動等を考慮する必要があるため、従来工法によって関空２期工事の施工実施を想定して算出したコストを 100 とした。図 5-37 より明らかなように、採土工のみの費用で 37%のコスト縮減が示された。



(a) Ⅰ期工事実績　　(b) Ⅱ期工事実績

図 5-37　１日あたり採土費用(Ⅰ期とⅡ期工事の対比)

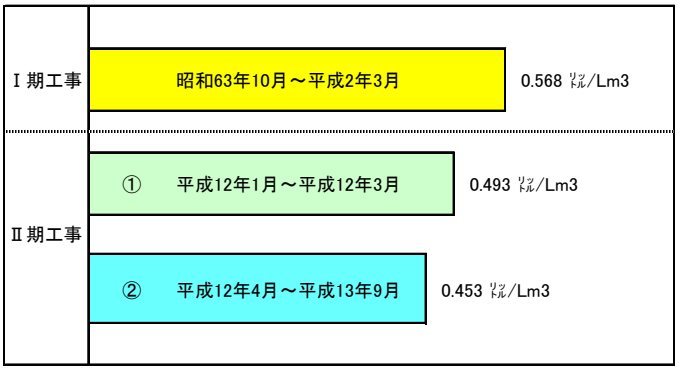
５．２．５　環境負荷低減の検証

この工事が環境に与える影響としては、工事に要する燃料の消費量で評価することができる。環境負荷の低減に関する効果として、燃料消費量と CO_2 排出量について関空 1 期工事と２期工事を対比し検証する。

５．２．５．１　燃料消費よりの検証

図 5-38 は、１ｍ^{3}の採土を行うのに要した燃料消費量を従来工法と施工 CALS を比較した結果である。図 5-39 より、今回のシステムの導入で単位体積の採土を行うのに消費する燃料を 21%減の結果を示した。緻密な施工を行い、計画の余分な不確定要素を除外することにより施工効率の改善を行えば燃料消費を低減できる枠組みを示した。今後、様々な工

事において同様の取り組みが進められることが期待される。



出荷量に対する消費燃料の使用量。ただし油種は、Ⅰ期は灯油
Ⅱ期は低硫黄の重油を使用

図 5-38　関空Ⅰ期とⅡ期の燃費比較

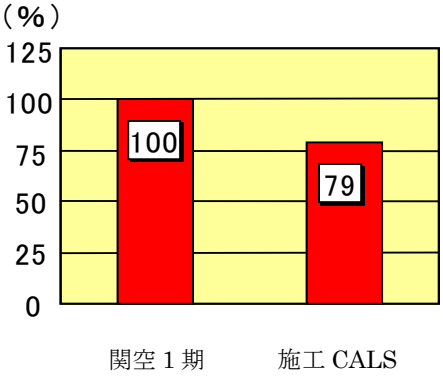


図 5-39　1m³の採土に必要な燃料消費量

図 5-40 は 2000 年 6 月～2001 年 5 月の間のダンプトラックの平均運搬距離と燃費の推移を図示したもので、図 5-38 の②の平成 12 年 4 月から平成 13 年 9 月の燃費実績の期間とほぼ同一である。図 5-40 より、この間の運搬距離は約 900m、1l 当たりの運搬距離も 240～250m とともに一定である。

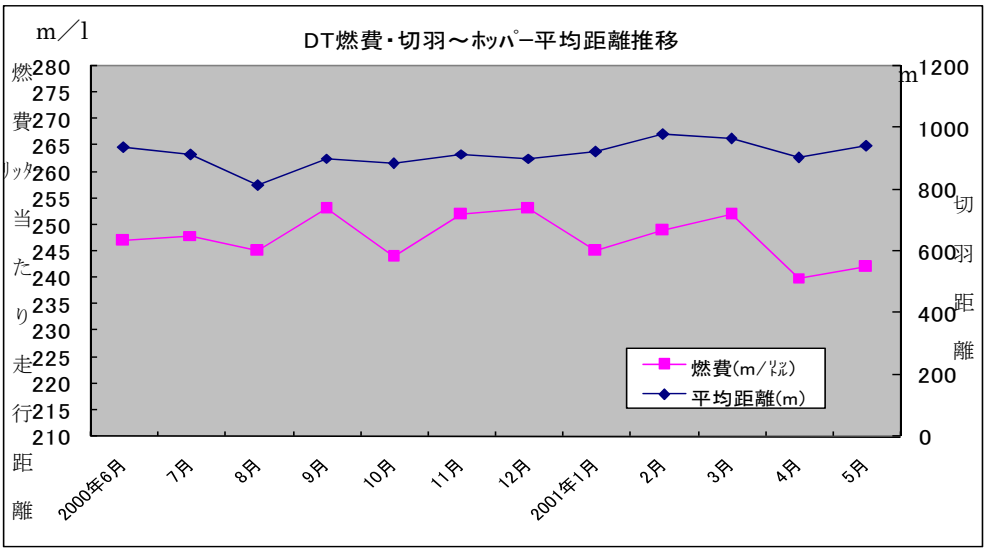


図 5-40　ダンプトラックの平均運搬距離
と燃費の推移図(2000 年 6 月～2001 年 5 月)

また、図 5-41 の切羽距離と燃料消費量(2000 年 6 月～2001 年 8 月)についても相関係数 60%で同様の結果を得ている。表 5-22 の 燃料消費率（l/kW-h）実績よりも運搬機の効率の高さが示されており、燃費の向上にはダンプトラックの運搬効率が寄与していることを示

している。

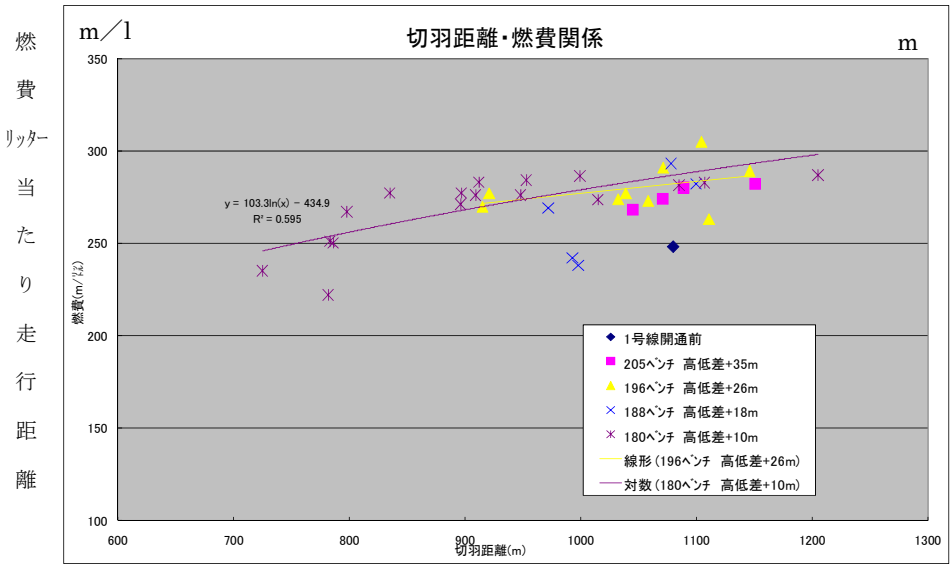
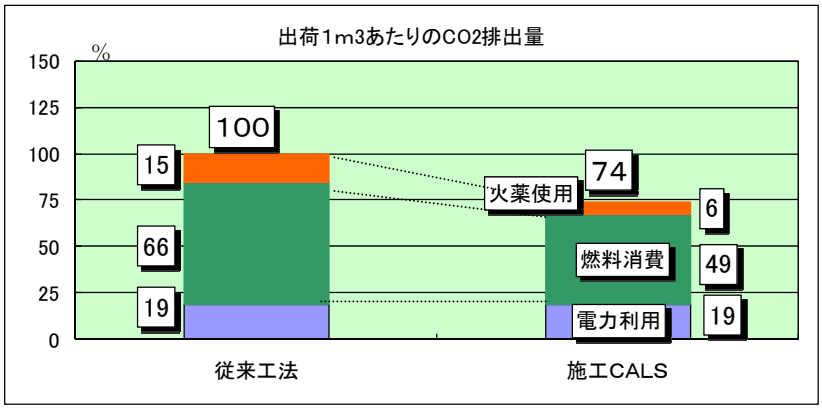


図 5-41　切羽距離と燃料消費量(2000 年 6 月～2001 年 8 月)

５．２．５．２　CO_2 排出量の検証

CO_2 排出量について本システムを適用工事で運用した場合の効果を以下に示す。図 5-39 は生産量１m³あたりの重機燃料消費量を示したものである。これらは関空１期工事の際に用いられていた機械と施工法での実績（従来工法と呼ぶ、運用期間は 1988.10～1990.7）を基準とし、施工 CALS を適用した場合（運用期間は 2000.4～2001.3）とを比較した結果である。これらが示すように日出荷量で 26%の増加，生産量１m³ 当りの重機燃料消費量で 21%の低減がなされている。また、施工機械の効率的な運用、火薬の最少使用などを通じ、CO_2 換算で 26%の環境負荷低減を実現を図 5-42 と表 5-30 に示す。



（Ⅰ期工事実績）　　（Ⅱ期工事実績）

図 5-42　出荷 1m³ あたり CO_2 排出量

適用工事に高度情報化施工を導入し施工 CALS を開発適用により、計画に含まれる余分な不確定要素を除外することにより施工効率、生産性を向上させれば施工の合理化により環境への負荷を低く抑えられることを示した。今回のような大規模土工事だけではなく、様々な工事において同様の取り組みが進められることが期待される。

表 5-30　CO_2 削減量の集計表

		施工CALS	従来工法	CO2換算式
電気	使用量	0.439 KWh	0.441 KWh	1KWh ＝ 0.28 kg
	排出CO2	0.123 kg	0.123 kg	
燃料	使用量	0.447 l	0.603 l	1Kl ＝ 690 kg
	排出CO2	0.308 kg	0.416 kg	
火薬 製造時	使用量	0.047 kg	0.1106 kg	1kg(火薬)＝ 0.69 kg
	排出CO2	0.032 kg	0.076 kg	
火薬 発破時	使用量	0.047 kg	0.1106 kg	1kg(火薬)＝ 0.17 kg
	排出CO2	0.008 kg	0.018 kg	
排出CO2の合計		0.472 kg	0.634 kg	
			26 %減 （出荷1m3あたり）	

表 5-31　排出される CO_2 の削減量

（平成 12 年 4 月～平成 14 年 11 月、32 ヶ月間）

		従来工法	施工CALS	CO2換算式
電気	使用量	0.441 KWh/m3	0.448 KWh/m3	1KWh当り0.28kg
	排出CO2	0.123 kg/m3	0.125 kg/m3	
重機燃料	使用量	0.603 ﾘｯﾄﾙ/m3	0.464 ﾘｯﾄﾙ/m3	1ｷﾛﾘｯﾄﾙ当り690kg
	排出CO2	0.416 kg/m3	0.320 kg/m3	
火薬製造時	使用量	0.111 kg/m3	0.0454 kg/m3	火薬1kg当り0.69kg
	排出CO2	0.077 kg/m3	0.031 kg/m3	
発破時	使用量	0.111 kg/m3	0.0454 kg/m3	火薬1kg当り0.17kg
	排出CO2	0.019 kg/m3	0.008 kg/m3	
排出CO2の合計		0.635 kg/m3	0.484 kg/m3	
比率		100	76	

表 5-31 は関空Ⅱ期工事の平成 12 年 4 月～平成 14 年 11 月の間 32 ヶ月間の運用で、従来工法の計画と比較して、24%の CO_2 削減を示した。

表 5-32 土砂 1 m^3 当り使用電力量

年度	出荷量	使用電力量	KWh/m3	コメント
平成12年度	11,018,555	4,841,160	0.439	
平成13年度	9,959,068	4,526,773	0.455	岩が硬くなっている
平成14年度	6,321,306	2,864,184	0.453	岩が硬くなっている
計	27,298,929	12,232,117	0.448	

単位は、
出荷量:Lm^3
使用電力量:KWh

注）平成１４年度は１１月までの数値。

表 5-32 には土砂１m³当り使用電力量、表 5-33 には土砂１m³当り重機燃料使用量、表 5-34 には、土砂１m³当り火薬使用量を示し、その単位量当たりの消費量と効率化の推移とそれぞれ示した。

表 5-33　土砂１m³当り重機燃料使用量

単位は、出荷量:Lm³燃料使用量:リットル

年度	出荷量	燃料使用量	ﾘｯﾄﾙ/m3	コメント
平成12年度	11,018,555	4,927,990	0.447	
平成13年度	9,959,068	4,696,776	0.472	実車の登りはじまる
平成14年度	6,321,306	3,031,134	0.480	実車の登り
計	27,298,929	12,655,900	0.464	

注）平成１４年度は１１月までの数値。

表 5-34　土砂１m³当り火薬使用量

単位は、出荷量:Lm³火薬使用量:kg

年度	出荷量	火薬使用量	kg/m3	コメント
平成12年度	11,018,555	527,613	0.0479	出荷増に伴い発破比率増
平成13年度	9,959,068	437,521	0.0439	
平成14年度	6,321,306	273,728	0.0433	
計	27,298,929	1,238,862	0.0454	

注）平成 14 年度は 11 月までの数値。

５．２．５．３　工事個所周辺への発破振動と低周波の低減

発破振動と低周波の周辺への影響低減を図るためそれぞれに基準値を設けた。発破振動について 55db、低周波振動は 95db とし、発破振動は兵庫県指導値 65db を下回る基準値として、低周波は自主基準とした。達成率 95%の基準への運営結果は表 5-35 と図 5-45 に示すが基準値を下回っての発破作業が実施されたことを示している。図 5-44 は測定された発破振動値の表示例であり 55db の基準値を越えたものは、赤色で表示など凡例のように表示した。発破場所と発破パターンによる発破振動値の結果を関連付けて表示することにより地盤の伝波特性と合わせて発破を管理することを可能とした。

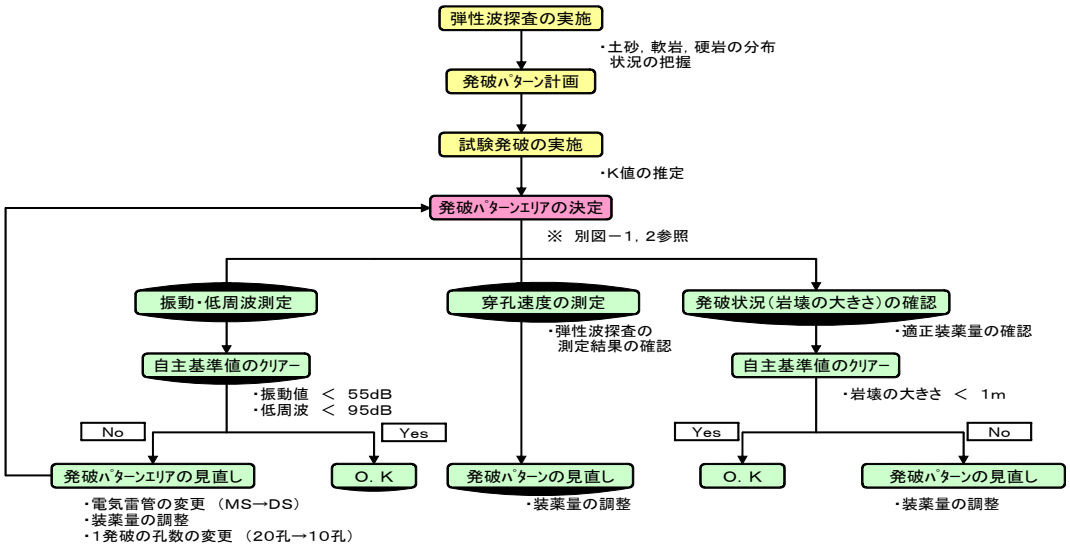
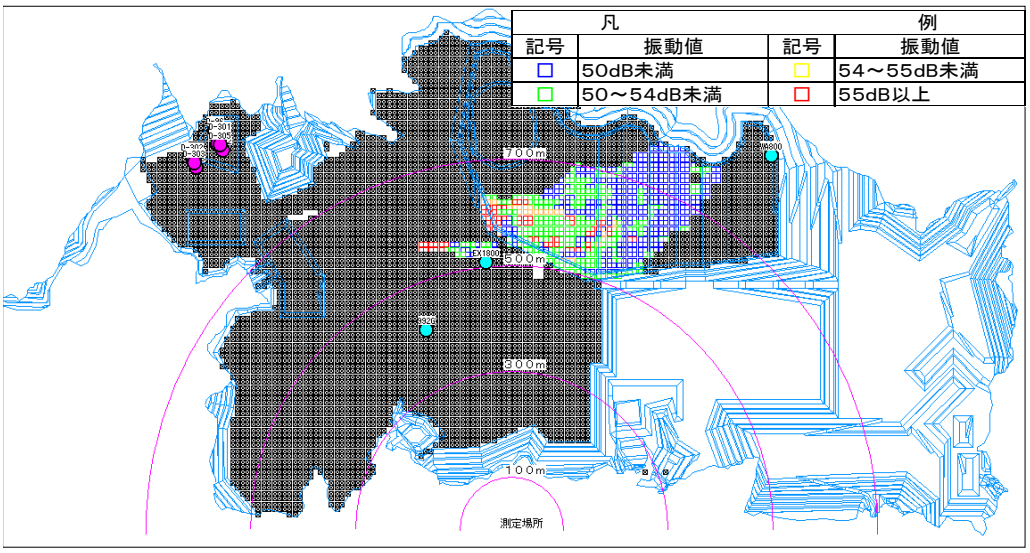


図 5-43　発破パターンの見直しフロー

以前の装薬量など発破計画と振動計測などこれまでの測定実績を基準に計画することにより基準値内の発破計画の立案につながったことを示している。



※ 平成14年4月1日～平成14年12月31日までのデータにて集計

図 5-44　発破振動値(円城寺測定値)の分布図

具体的には、図 5-44 の計測結果をもとに、近傍、下部の発破実施時の発破パターンなどをもとに計画し発破作業を実施することにより、基準値以内の発破振動、低周波振動に抑えることができる。この作業を図 5-43 の発破パターンの見直しフローに示し、データベースを活用し改善を重ねての発破工にて基準以下に抑えることが可能であることを示した。

表 5-35　振動値と低周波の測定集計(平成 14 年 4 月～12 月)

年月	振動値(基準値55dB以内)						低周波(基準値95dB以内)					
	月毎			累計			月毎			累計		
	基準値内	全測定数	割合	基準値内	全測定数	割合	基準値内	全測定数	割合	基準値内	全測定数	割合
	(件)	(件)	(%)	(件)	(件)	(%)	(件)	(件)	(%)	(件)	(件)	(%)
H.14.4	196	196	100.0	196	196	100.0	195	196	99.5	195	196	99.5
H.14.5	140	140	100.0	336	336	100.0	139	140	99.3	334	336	99.4
H.14.6	144	144	100.0	480	480	100.0	145	145	100.0	479	481	99.6
H.14.7	144	144	100.0	624	624	100.0	134	135	99.3	613	616	99.5
H.14.8	105	105	100.0	729	729	100.0	104	105	99.0	717	721	99.4
H.14.9	145	147	98.6	874	876	99.8	156	156	100.0	873	877	99.5
H.14.10	168	173	97.1	1042	1049	99.3	180	181	99.4	1053	1058	99.5
H.14.11	165	166	99.4	1207	1215	99.3	200	203	98.5	1253	1261	99.4
H.14.12	158	158	100.0	1365	1373	99.4	196	196	100.0	1449	1457	99.5
合計	1365	1373	99.4				1449	1457	99.5			

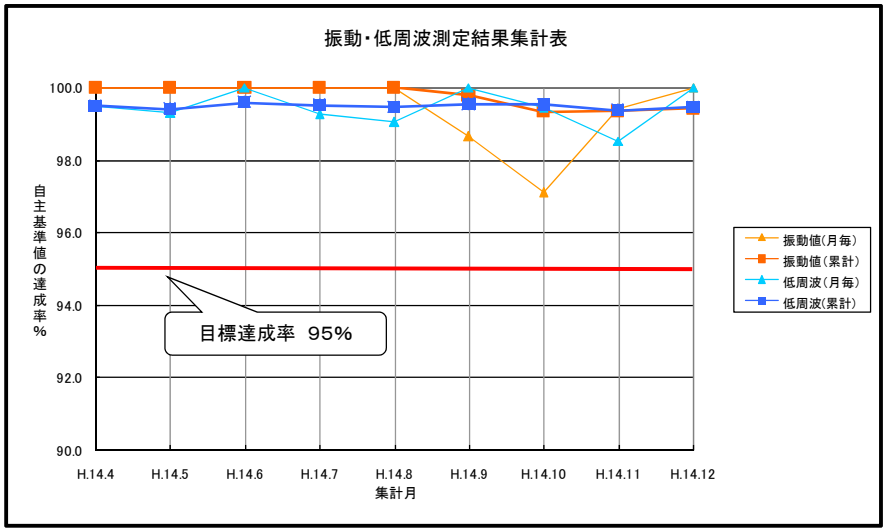


図 5-45　振動値と低周波の測定集計(平成 14 年 4 月～12 月)

５．３　総合効果の検証

施工 CALS の適用により情報の共有と双方向化が実現し、カレント数が減少と情報伝達時間が短縮されることは既にその効果を示した。施工 CALS による最適化への取り組みは図 5-46 に示すように、施工情報を利用し、より的確な判断への選択範囲を狭め、技術者の柔軟な対応を容易にする環境を整えることにより，最適解に近づけていく手法である。本項では、施工 CALS 導入により施工情報量の変化、工程の簡素化の変化、管理に従事する人員数と得た多くの情報を分析し判断に要する変化など総合的な効果を検証するものである。適用工事の施工 CALS 導入の総合効果は、図 5-47(b)に示すように、工程数が３２％に減少し、管理人員も２０％の減少でも取り扱う情報量が１６倍になるなど大幅な情報項目と情報量の増加により意思決定までの所要時間が６０％短縮し、意思決定に費やせる時間が増加したことになり、余裕を持って施工などの課題への判断が下せる環境が整ったといえる。すなわち、技術者の適切な判断と柔軟な対応が図れる環境が整っていたことを示している。より少ない管理人員による判断時間の減少は図 5-46 に示す最適化への道程にあり、

その実践が図れることを示している。

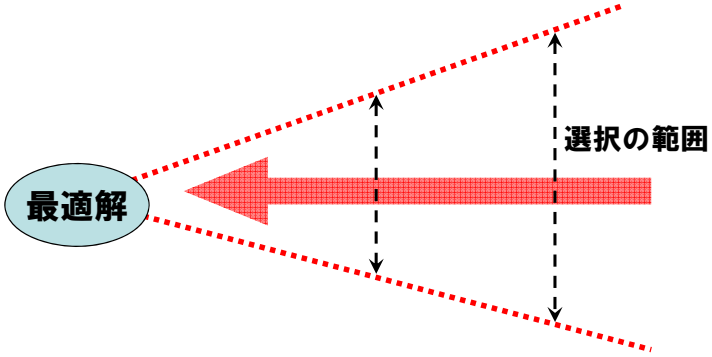
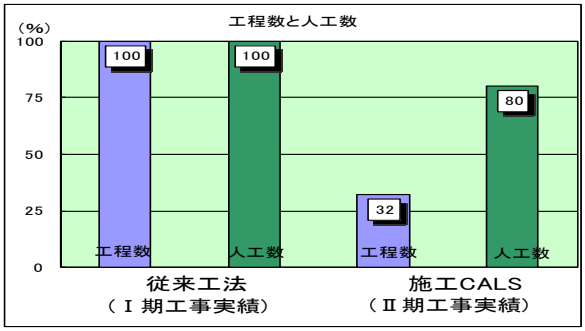
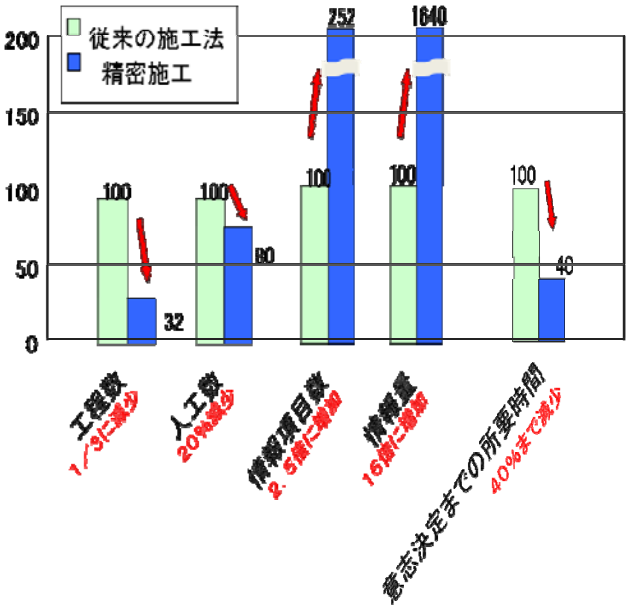


図 5-46　施工 CALS による最適化のイメージ

図 5-47(b)は 1 期を 100%とした時の
各評価項目の 2 期の成果、
赤字はコメントを表記したもの



(a) 工程数と人工数の比較



(b) コンカレントと情報量に関する成果

図 5-47　施工 CALS 導入の総合効果

コンカレント(工程の簡素化)面よりは、注目すべき情報の整理やそれによるプロセス間の統合といった従来は実施されなかった「情報の利活用」面からの施工プロセスの見直しが、実際の工事の遂行に対して効果的であることを示している。

表 5-36　　施工 CALS 導入による施工管理人員(常時)の低減

JV職員、協力会社職員配置（常時）

場所	主な作業内容	人員（人/日）		
		Ⅰ期工事	Ⅱ期工事	Ⅰ期とⅡ期の差
採土地	重機稼働状況把握、ｻｲｸﾙﾀｲﾑ調査、	3	1	2
中央操作室(貯鉱)	破砕設備運転、貯鉱量監視	1.5	1	0.5
シップローダ(船積)	ﾍﾞﾙｺﾝ運転、船積運転	1	1	0
桟橋詰所	土運船との連絡、桟橋との連絡	1.5	1	0.5
JV事務所	総合管理	1	0.4	0.6
協力会社事務所	管理補佐	1	0.2	0.8
計		9	4.6	4.4

Ⅰ期工事に比べ、１日当り48時間（4.4人×11時間）の省人化が可能となった。

５．４　施工 CALS による高度情報化施工の展開

５．４．１　高度情報化施工と施工 CALS の汎用性

高度情報化施工は、工事施工のさまざまな要素と目的関数への最適化を図る建設マネジメント技術であり、周辺環境に配慮しながら建設を進めることが今後より一層強く求められる建設工事において、効率的な工事運営を行いながら同時に水質、振動、騒音など環境負荷を低減させる手法として適用性の高い技術である。

施工 CALS は、これまでに示したようにハードウェア的な連携を必要としているのではなく、建設サイクルの遂行に必要不可欠な情報に着目し、それに付加価値を与えながらすべての関係者間で共有するとともに、相互に情報交換できることにより各々が担当する工程において情報が有効活用できる仕組みである。施工 CALS はその名称が示すとおり、施工段階での利用を前提とした仕組みとして構築したものであるが,建設 CALS（ Continuous Acquisition and Life-cycle Spupport)の定義に立ちもどれば CALS とは、情報を受発注者間あるいは建設物のライフサイクルを通じて共有し利用するために導入されるものであるから、施工段階に限定されずに、ライフサイクル全体を通じて活用することが可能である。特に、本論最初で示した情報の管理単位である情報ユニットの形状を、工種に応じて立方体から管状や球状、リング状等自由自在に変形させることによって、大小様々な規模の建設プロジェクトに展開することが可能になる。

５．４．１．１　高度情報化施工と施工 CALS の展開

建設分野において不確定要因を見込んで立てられた施工計画について，情報技術を駆使して時々刻々変化する現場の情報をできるだけ詳細に収集し，それに基づいて技術者が適切な判断と柔軟な対応により、計画の余分な不確定要素を排除し、施工の効率化と工程の簡素化によりコスト縮減と環境負荷低減など所定の成果の実現を図ることを示し、大規模土工事ではその支援システムとして施工 CALS を開発運用し高度情報化施工を適用した。

その後の展開で施工 CALS の適用による運用の事例、総合評価制度による提案と施工段階にある事例として(1)から(4)により今後の展開を示す。

(1)NATM 工法における現場サイトでのコンクリートの品質管理

(2)建造物内の配管の維持管理への適用

(3)その他の工事への適用

(4)施工 CALS の教育への利用

(1)NATM 工法における現場サイトでのコンクリートの品質管理

NATM トンネル施工について、工事情報の内、品質情報の一元管理と透明化の実現へ 3 次元モデルを用いたモーショントレースによる品質向上に着目した情報の活用による合理化への提案について記述する。具体的には、コンクリート品質及び運搬車両管理について①から③の情報により現場練りコンクリートの品質不良の防止を図る仕組みである。

① バッチャープラントでの品質情報管理

② 運搬時間管理（車両ＩＤ取得機器による車両管理）

③ 時間超過等による不良コンクリートの自動判定

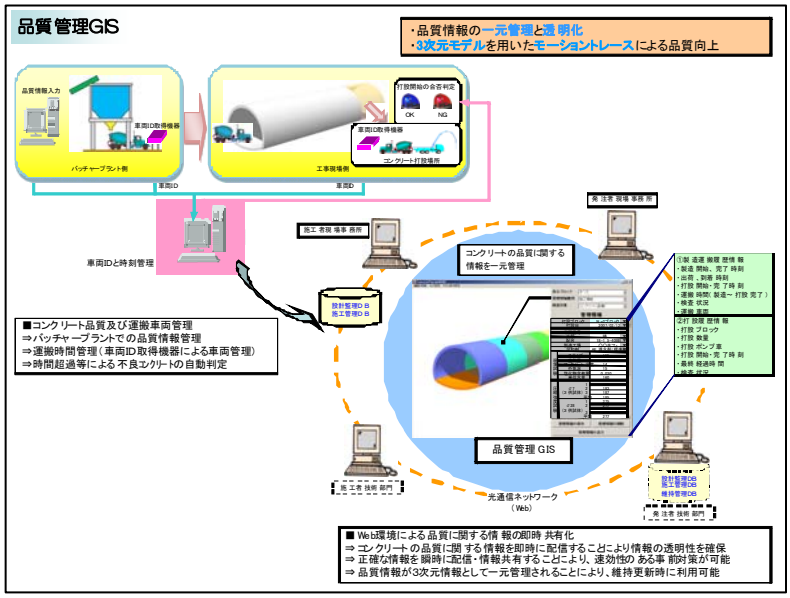


図 5-48　NATM トンネル工法の品質管理へ施工 CALS の適用例

①～③を行うことにより打設するコンクリートの打設までの時間を管理することにより、時間の超過による品質低下を防止する仕組みである。図 5-49 にその混練りするバッチャープラントより打設する工事個所のセントルまでの情報を即時に配信することにより施工の品質の透明性を確保する仕組みである。利用する情報技術としては、最近一般化している Web 環境を整備による品質に関する情報の即時共有化であり、コンクリートの品質に関する情報を即時に配信することにより情報の透明性を確保し、企業者、施工管理者など工事

関係者へ確な情報を瞬時に配信・情報共有することにより、速効性のある事前対策が可能となる。また、品質情報が３次元情報として一元管理されることにより、工事完了後の供用後の維持更新の情報も格納することも可能であり、供用後も利用が可能である。

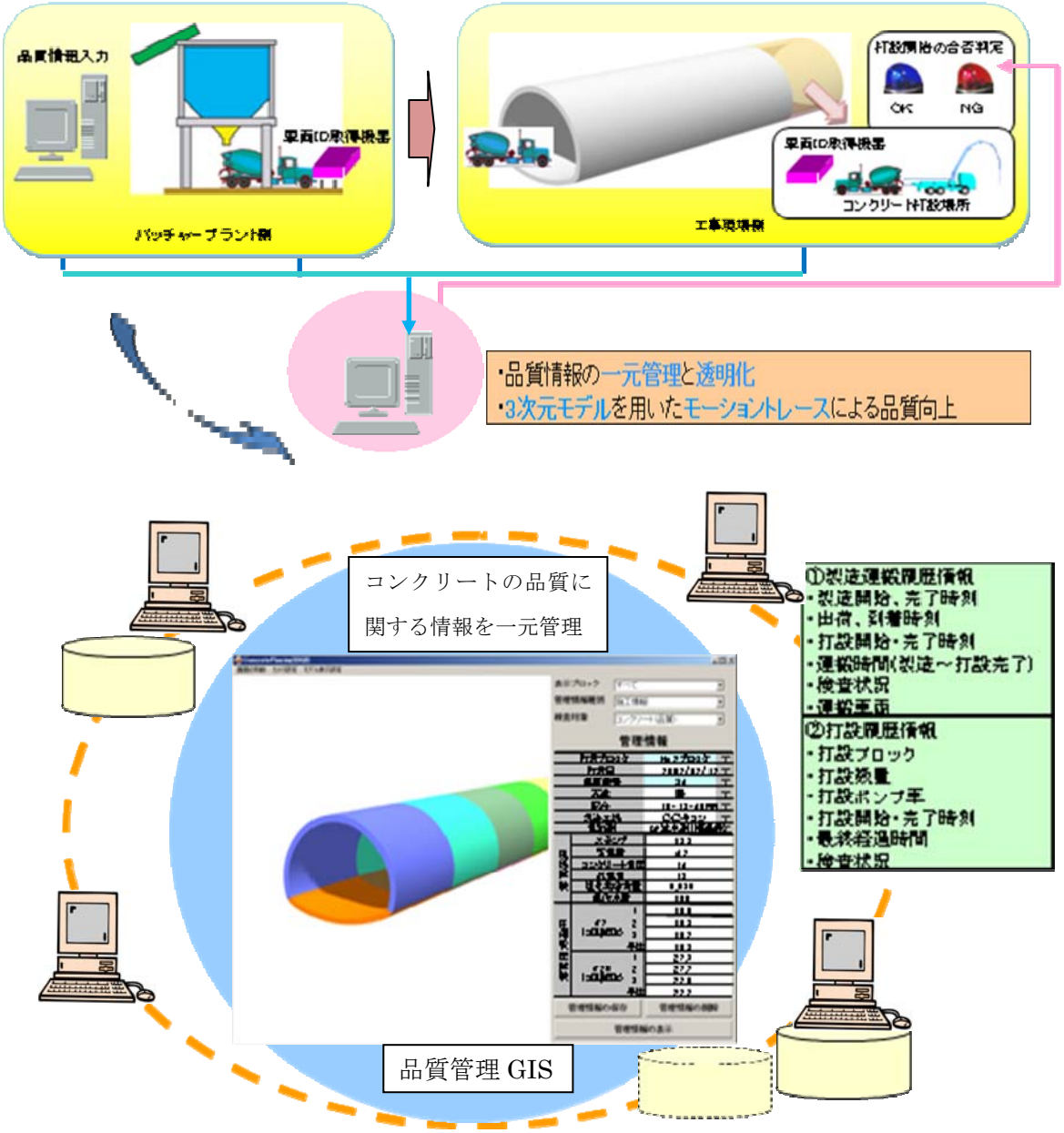


図 5-49　NATM トンネル工法の品質情報の透明化と配信システムの例

(2) 建造物内の配管の維持管理への適用

図 5-50 は、建造物内の配管の維持管理に関わるデータを一元化し、設置された配管の情報を設計から施工と維持管理までを把握することによりその配管のライフサイクルでの最適化へアセットマネジメントの取り組みである。適用した配管、ハンドホールなどを筒型、

キューブなどの形状を組み合わせたそれぞれの３次元の管理単位にデータを収納し、一元管理を図るものであり、導入した建物では、すでにデータ蓄積などその運用を図っている。その収納する情報としては位置データ、管種などの施設来歴と補修に関する維持管理データなどである。アセットマネジメントとしての成果は今後に期待される。

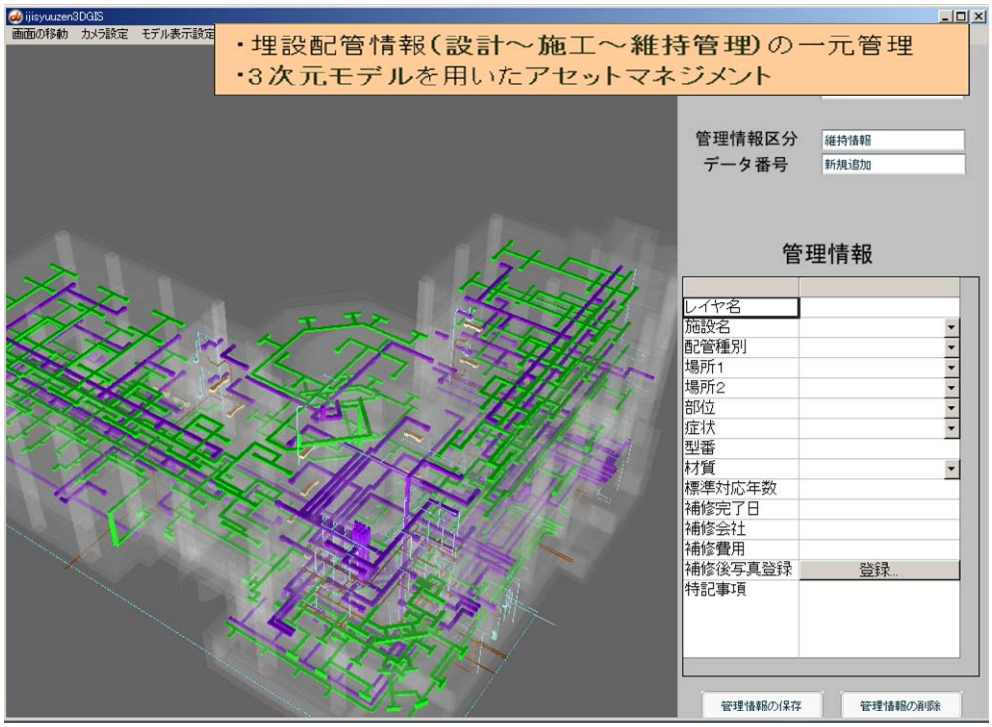


図 5-50 建造物の配管情報の一元管理によるアセットマネジメントへの取組み

(3)その他の工事への適用

３次元 GIS を中核とした施工 CALS は情報の管理単位である情報ユニットの形状を、適切に選択し、工事に応じて立方体、円筒状、馬蹄形、球状など自由に形状決定することにより多くの工事への適用が可能となる。一例として、表 5-37 に工事別 3 次元形状の管理単位と収集する情報の例を示した。

土工事では盛土の転圧管理など多くの適用が可能であり、最近増加している土地取引き関係法令の改正による土壌浄化工事への適用が可能である。土壌浄化工事では、浄化ブロック単位を管理単位(規定層厚×ブロック長さ×幅)として扱い、一元管理により情報を収集、格納しデータベースとして汚染土の汚染内容(物質、汚染度合)など施工情報を利用し、施工段階の情報として汚染内容、汚染度合いなどによる処理方法、土壌処理結果のデータまでを管理単位に一元化し格納することにより、統合情報管理を図ることが可能である。

表 5-37　各種工事への施工 CALS 適用

工事例	管理単位例 （3次元形状）	収集する情報例
ダム工事	打設ブロック 盛立ブロック	配合、打設温度、品質、 機械稼動、計測情報など
トンネル工事	セントル1リング	土圧、組立時間、掘削時間、 換気量など
大深度地下工事	セグメント1リング コンクリート打設ブロック	土圧、組立時間、掘削時間、 使用泥しょう量など
道路・造成工事	規定層厚×ブロック長 ×幅	材料、含水比、転圧回数、 密度など
橋梁工事	コンクリート打設ブロック PCブロック	配合、打設温度、 コンクリート出荷元、強度など
港湾埋立工事	土運船1隻の土砂	出荷元、比重、含水比、 土量、投入位置など

(4)施工 CALS の教育への利用

施工 CALS の運用による技術者の判断は、技術者個人の固有技術個別技術に基づき実施されるために、判断した技術者の判断プロセスと判断内容が明らかなる。視点を変えると、技術者の持つ施工管理への固有技術、個別技術の技量を見ることにもなる。我々は経験を持つ技術者の固有技術により判断させその適切度合いを見たが、本システムは経験の浅い技術者についても同様に判断の適否を把握することになる。このことは、施工段階での OJT(On the Job Trainng)そのものであり、技術者個人の判断の検証による技術力向上への教育ツールとして利用を図れることを示しており、施工に携わる技術者の適切な判断と柔軟な対応への管理水準の向上に資する技術でもあることを示している。

５．５　個別技術による改善の効果

５．５．１　個別技術による改善

関空１期よりの運営で残されていた課題と参画者の改善への提案によりそれぞれの工程へ多くの改善を実施し、その主なものを表 5-38 に集計した。その実施の内容は第 3 章に示した。個別技術による改善効果は、ベースとして高度情報化施工と施工 CALS の適用による情報利用があり、その効果については個別技術単独のものに加えてその相乗効果の要素を含むため単独の効果のみでではないこと、そして、そのねらいについては表 5-38 の項目部分に紹介し、その成果については 5.2.2 施工の効率化に関する効果の検証に示した。

表 5-38　　個別技術による改善一覧

ね　ら　い			具体的な改善策
環境負荷の低減	火薬使用量の低減		重機併用ベンチ発破工法の採用
	適正な発破の実施		試験発破による発破パターンエリア分け
時間当り生産量（ホッパ投入量）の増加	サイクルタイム短縮	積込効率の向上	積込機械バケットの改造
			ダンプへの積込角度の最適化
			ダンプ待機位置の改善
		走行効率の向上	大型重機の採用
			運搬走路の早期直線化による運搬距離の短縮化
			重機燃料のカロリー向上
			運搬走路一定勾配化とホッパ前での登り勾配の採用
			走路幅員の拡幅、分岐・合流の最小化
			大型グレーダによる走路の定期整備
	重機休止時間の低減	維持補修頻度、時間の低減	重機摩擦部分の性能向上
			予備車の配置
船積停止ロスの低減			シップローダ切替ダンパの改造
			大型補助タグボートの配備

５．５．２　シップローダー積込みロスタイムの低減

関空２期工事では、土運船への連続積込みを行うためにシップローダーを改造し、船積みのロス時間を短縮し積込み量の増大を図った。船積みは、適用工事の最終工程でありいくら採掘工程で増量生産しても船積みができなければ顧客の要求にこたえられないことより、作業工程のボトムネックであることを示している。

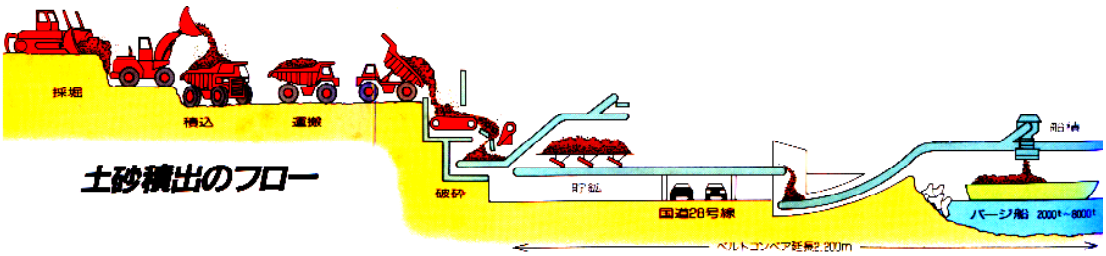


図 5-51　採掘から船積みまでの土砂搬出のフロー

関空１期工事では構造上連続積込みができないために、一隻当たりに 3～5 分のブームコンベアの切替え時間が必要であり、一日の最大就航船舶数が 17～23 隻であることを考慮すると約 90 分のロス時間が発生し、1 日の積込み量に換算すると積込みロス量は 5,571m^3 となる。

(1)シップローダーの積込み稼働実績と最適化レベルの検証

採掘場の稼働については、シップローダーの稼働能力と稼働率はシステム全体の稼動を支配しており、全体システムの稼動を示すことになる。ここで、2000 年から 2002 年の 3 年間の稼働実績よりその効果の検証を示す。

① 積込みベルトコンベア設備稼働データ

表 5-39　設備稼働の原因別不稼働日、稼働率と出荷量

年	月	日数	稼働日数	不稼働日数							稼働率（荒天・トラブル）	稼働率（トラブル）	出荷量（メリック）m3	出荷量累計 m3	1日当たり平均出荷量 m3/日	備考
				休日	荒天		トラブル		その他	計						
					風・波	雨	船	山								
2002年	1	31	16	9	6					15	72.7%	100.0%	621,723	621,723	38,858	
	2	28	22	4	2					6	91.7%	100.0%	858,823	1,480,546	39,037	
	3	31	20	5	6					11	76.9%	100.0%	793,886	2,274,432	39,694	
	4	30	22.5	4	3			0.5		7.5	86.5%	97.8%	854,673	3,129,105	37,985	
	5	31	22	7	0			2		9	91.7%	91.7%	780,897	3,910,002	35,495	ｲﾝｸﾞﾗﾝﾄﾞ練習
	6	30	23	5	1			0.5	0.5	7	92.0%	95.8%	754,195	4,664,197	32,791	潮待ち
	7	31	19	4	8					12	70.4%	100.0%	703,493	5,367,690	37,026	
	8	31	20	10	0.5				0.5	11	95.2%	97.6%	744,062	6,111,752	37,203	
	9	30	21.5	7	1.5					8.5	93.5%	100.0%	858,252	6,970,004	39,919	
	10	31	24	5	2					7	92.3%	100.0%	974,357	7,944,361	40,598	
	11	30	21.5	5	3.5					8.5	86.0%	100.0%	892,068	8,836,429	41,492	
	12	31	16	9	5.5				0.5	15	72.7%	97.0%	599,631	9,436,060	37,477	
2002年	計	365	247.5	74	39	0	0	3	1.5	117.5	85.1%	98.2%	9,436,060		38,125	
参考																
2000年	計	366	260.5	70	25	0	0	10.5	0	105.5	88.0%	96.1%	10,751,881		40,214	
2001年	計	365	267	69	24	0	0.5	3.5	1.5	98.5	90.2%	98.2%	10,411,173		39,993	

注1）出荷1万m3以下の日は、不稼働日とした。
注2）出荷2．1万m3以下の日は、1/2不稼動日とした。
注3）2002年9月より、祭日も出荷なし。

2000年、2001年に比べ
荒天による出荷停止が多い

② 稼働率について

1.荒天と設備を含めたトラブルによる稼働率は、

2000 年は 88.0%(=260.5/366-70)、2001 年は 90.2%(=267/365-69)、と 2002 年では 85.1%(=247.5/365-74)となり、累計 3 年間の稼働率は 87.8%であった。

2. 荒天、ワールドカップサッカーイングランドチームの練習による休止を除外した設備のみのトラブルによる稼働率は、2000 年で 96.1%(=260.5/366-70-25)、2001 年で 98.2%(=267/365-69-24)、2002 年は 99.0%(=247.5/365-74-39-2)とり、累計 3 年間の稼働率は 97.7%(=(260.5+267+247.5)/(271+272+250)であった。

③ 設備トラブルによるロス時間の集計データと稼働率

1. 設備トラブルによるロス時間

2000年トラブル10.5日を1日当たりのロスタイムは、29.0分/日(=10.5＊12＊60＊/260.5)

2001 年は、3.5 日であり 9.4 分/日(=3.5＊12＊60/267)、2002 年は、2.9 分/日(=1.0＊12＊60/247.5)となる。3 年間のトラブルによる累計平均のロスタイムは、13.9 分/日(=(10.5+3.5+1.0)＊12＊60/(260.5+267+247.5)となる。

2.設備トラブルによる稼働率 [24)]

気象海象条件を除く設備全体の稼働率を算定すると、3 年間稼働では 97.4%。各年度は 96.1 から 98.2%の稼働率を得た。以下に算定の根拠を示す。

システム稼働率 A を以下の算定式より求める。

A=MTBF／(MTBF+MTBR)　ただし、A＝Abailability

MTBF = Mean Time Between Failure

MTBR= Mean Time Between Repair

2000年の$MTBF_{2000}$=260.5日、$MTBR_{2000}$=10.5日よりA_{2000}=260.5/(260.5+10.5)=96.1%、2001年の$MTBF_{2001}$=267日、$MTBR_{2001}$=5.5日よりA_{2001}=267/(267+5.5)=98.0%、2002年の$MTBF_{2002}$=247.5日、$MTBR_{2002}$=4.5日よりA_{2002}=247.5/(247.5+4.5)=98.2%を得る。累計では、$MTBF_{\Sigma}$=775日、$MTBR_{\Sigma}$=20.5日よりA_{Σ}=775/(775+20.5)=97.4%を得る。

④　船積みロスタイムの集計データ

シップローダにより土運船への積込み時のロスの集計データでは、4 分/日のロスの実績を集計した。1日4万m^3程度のフル出荷では17～20隻の土運船に連続積込みを実施したが、就航船舶の大小により(7,500DWT～2,250DWT)積込み船倉長さが異なるために、一方の積込み終了時に反対側に土運船の船倉が位置しない場合がある。この場合には、一時ベルコンを空転させ、積込み可能な位置シップローダを移動させ積込み作業を再開させることになる。これが船積みロスタイムである。発生しないように次の船舶の着桟位置を調整するが、就航船舶の形状、時間、着桟技術、海象、潮流、漁業者の漁の状況により避けられない場合があり発生する。

③システム稼働として

採掘より船積み出荷までの直列システムとしてシステム全体は最下流のシップローダの稼働に支配されていることより、システム稼働率として算定評価する。

1.設備トラブルと船積みロスによる設備稼働率

土運船、漁など採掘地以外の不稼働を除外した適用工事の人為的な要因のみによるシステム稼働率(Abailability)を算定すると、3年間稼働では97.4%。各年度は95.1から99.0%となった。各年度の稼働率の算定は以下に示すと 2000 年の稼働率は、$MTBF_{2000}$=12＊60=720分、$MTBR_{2000}$=29.0+4.0=35.0分A_{2000}=(720-35)/720=95.1%となる。

2001 年の $MTBR_{2001}$=9.4+4.0=13.4 分より A_{2001}=(720-13.4)/720=98.1%、2002 年の$MTBR_{2002}$=2.9+4.0=6.9 分より A_{2002}=(720-6.9)/720=99.0%を得る。累計では、$MTBR_{\Sigma}$=35.0+13.4+6.9=55.3分より A_{Σ}=(3＊720-55.3)/3＊720=97.4%を得る。船積みロスと設備故障の累計時間18.4/日と、97.4%のシステム稼働率を得た。

船積みロスタイムの実績は、1日当たり4分平均とぼぼロス時間がゼロの積込みを実施した。

表 5-40　船積みロスタイムの実績

		Ⅰ期工事	Ⅱ期工事	Ⅰ期と Ⅱ期の差
日当り船積み ロスタイム	分/日	90	4	86
換算出荷量	m^3/日	5,571	248	5,324

そのロス削減時間を積み込み量に換算すると 5,324m³/日(表 5-40)となり、年間 250 日稼働で換算すると 133 万 m³/年となり､最終工程のボトルネック部分の改善運用であることを考慮すると、その効果への寄与度合いは高く、その稼働率の高さより取り組みへの努力が伺える結果である。シップローダーの連続積込みは個別技術による改善ではあるが、その運用には、採土地～破砕、ストックヤード～ベルトコンベア運搬～土運船～関空海域～関空の工事まで一連の工事情報を把握し、海象、気象の変化などへ適切かつ柔軟な対応による運用の成果であることには言を待たない。

５．５．３　タイヤ寿命時間について

表 5-41 の 1999 年 12 月より 2001 年 12 月の 2 年間の稼働によるタイヤ損耗調査と使用可能時間の予想は、メーカーに差異はあるが全て 6,000 時間を上回っており、そのうち 2 社は 7000 時間を上回る予想となった。各タイヤメーカーには、積載量、走行速度、走路線形など走行条件を提示し対策タイヤの検討後の稼働であったが、この予想時間は通常の使用可能時間を大きく上回るものであり、平均速度 20km を上回る(図 11-10)運搬作業と運搬量を考慮すると長寿命といえる。大量に安定しての供給を求められた運搬工で、ダンプトラックの燃費と運搬効率の良さに加えてタイヤライフの長寿命の実績は、多くの効率化を実証したものであり、走路の直線化、縦断勾配の検討、モーターグレーダによる走路管理を実施など個別技術と施工 CALS による適切サイクルタイムへの合理化が走行効率の向上と適切負荷による低負荷化の成果である。また、オペレータの技量、タイヤメンテナンスなど人的な要素も結果としてタイヤライフの長寿命化にも寄与した。

表 5-41　タイヤ損耗調査と使用可能時間の予想

タイヤ損耗調査結果と今後の対応　　単位:時間　2001.12

項　目		ＢＳ	トーヨージャイアント	ミシュラン
タイヤ調査本数（本）		12	26	12
推定ライフ(85%)	BS	7343		
単位 ： hr	トーヨージャイアント	＊6946	6829	
	ミシュラン	＊7078		7633
交換対象		平成14年夏に磨耗率85%に達すると予想されるもの		
交換時期		平成14年3月～4月頃		
交換本数（本）		10	16	4
推奨タイヤ		現在のものを継続使用	新製品　SP-Z2に変更	現在のものを継続使用
JV考察		ライフはBS、ミシュランが長いが、交換後の運転時間を考えるどのメーカーでも適応可能		

注）推定ライフで＊印は、BSが他社製品を推定。

５．６　外部評価

施工 CALS のシステム開発への取組み経緯と外部評価を、表 5-42 に示す。1998 年 4 月に着手し 1999 年 12 月の関空 2 期の稼働当初よりしシステム供用し、システム開発につきもののバクなど、稼働初期には多くの課題が発生し、不具合の除去には数ヶ月の時間を要したが、本格稼動後は適用工事の運用に不可欠なシステムとして工事運営を支え、施工の

効率化と工程の簡素化など施工の合理化により多くの成果を実現させた。

外部からの評価は、2000 年 8 月の国土技術開発賞、2003 年 5 月土木学会技術開発賞、2004 年 5 月日本機械化協会奨励賞、2005 年 11 月優秀論文賞などの栄誉とともに、2003 年 2 月にはいわゆる NETIS の登録をし、2005 年 6 月には特許題目「建設工事の精密施工支援システム及びプログラム、並びにこれらを用いた精密施工法」として、施工情報の活用による生産性の向上と環境負荷低減へのツールとマネジメント技術として登録された。

表 5-42　施工 CALS への取組み経緯と外部評価

1	1998 年 4 月	システム開発着手
2	1999 年 12 月	関空Ⅱ期出荷開始とともに運用
3	2000 年 3 月 2005 年 6 月	特許申請。 特許登録。第 3687850 号
4	2002 年 8 月	(財)国土技術研究センター・(財)沿岸開発技術研究センター共催、国土交通省後援 国土技術開発賞受賞
5	2003 年 2 月	国土交通省「テーマ設定技術募集システムによる技術の公募」に選定される
6	2003 年 5 月	土木学会　土木学会賞 技術開発賞受賞
7	2004 年 5 月	(社)日本建設機械化協会　奨励賞受賞
8	2005 年 11 月	(社)日本建設機械化協会　優秀論文賞受賞

５．７　品質管理基準による管理結果

品質管理基準については、3.3.1.3 供給材料の品質管理基準に記載した。その実施結果について 2002 年 1 月より約 6 か月のデータを添付資料に、本項ではその抜粋データを示す。

(1) 外観試験

異物の混入については適用工事での管理は記載のとおりであるが、関空海域では土運船１隻ごとに外観により判断しており、生産箇所の管理を確認している。その管理写真を直投その 1 工事の外観写真を参考に示す

(2) シルト分以下の細粒含有率試験

75μ以下の細粒含有率をメスシリンダー法(写真 5-2)にて測定した 2002 年 1 月から 2002 年 6 月までの結果を参考資料として添付し、月次平均のメスシリンダー法による測定結果を表 5-43 に示す。その測定結果は、品質管理基準のシルト分以下の細粒含有率 20 パーセントに対して、データは月次平均で 6.6～7.6 パーセントと管理基準値のクリアを示した。

(a) 外観写真

(b) 資料採取

(c) 外観写真

写真 5-1　外観試験

表 5-43　メスシリンダー法によるシルト分以下の細粒含有率試験

年月	平均 %	備考
2002年　1　月	7.6	17日 稼働
2　月	7.1	22日　〃
3　月	7.0	22日　〃
4　月	7.1	22日　〃
5　月	6.6	23日　〃
6　月	6.8	

写真 5-2　メスシリンダー法による試験結果

第６章　結論

本論文は、1986 年に関空 1 期工事をはじめ大阪湾臨海部の土地造成工事へ埋立て材料他の供給を目的に採掘を開始した適用工事に、1999 年 12 月から始まった関空 2 期造成工事向けの大量出荷と安定稼動へ本マネジメント技術を導入し、支援システムを開発し、施工 CALS による高度情報化施工を適用した。適用工事が関空 2 期への出荷を完了したことを契機に本マネジメント技術導入と支援システム運用による成果をまとめたものである。

適用工事において情報活用への技術課題と解決への枠組みを示し、本マネジメント技術の導入と適用工事で施工支援システムを開発し運用することにより、情報技術を駆使して時々刻々変化する現場の最新情報をできるだけ詳細に収集し、必要な加工情報と映像などの情報の提供し、その情報に基づく的確な判断と柔軟に対応できる施工環境を構築し、効率化と工程の簡素化により技術者の判断に必要な時間を短縮し、合理化施工を実現させることにより工事目的の達成、生産性の向上、環境負荷の低減など多くの成果を示した。大規模な土工事への適用であったが、他の多くの工種のみならず、建造物の配管の維持管理への拡大から LCC まで適用が可能な汎用度の高い技術であり、導入例と提案を本論において示した。

以下、本マネジメント技術と施工支援システムに関する研究成果、新しい知見などを各章ごとにその内容を示す。

第 1 章は序論であり、建設分野に対する緊急の課題であるコスト縮減と環境負荷低減に対し、天候、地質あるいは材料のバラツキなどの不確定要因を見込んで立てられた設計や施工計画の問題点を見直すために、情報技術を駆使して時々刻々変化する現場の情報をできるだけ詳細に収集し、それに基づく的確な判断と柔軟な対応により、効率化、工程の簡素化と施工の合理化の実現へ高度情報化施工の構築を図る本研究の手法が有効であることを示した。

第 2 章 ではコスト縮減と環境負荷低減の課題に対し、建設分野の建設生産性の低さ、固定的な発注制度など建設分野の課題、現場運営と計画の齟齬と収集されるが活用されない施工情報の利用上の課題、情報化施工による施工の効率化へ模索している建設施工の課題、施工 CALS による情報の一元化、リアルタイム化と双方向化による共有と一般製造業のコンカレントエンジニアリングへの工程の簡素化などの取り組みから、施工 CALS の開発、適用と高度情報化施工による課題解決への方向と枠組みを示した。

第 3 章では、本研究を適用した大規模土工事の生産計画の検討による破砕から船積みの設備、発破工法、積込みから運搬工までの採掘工法まで計画の最適化により課題と目標を明確にし、個別技術による多くの改善と施工 CALS を開発し施工 CALS による高度情報化施工による最新の情報の入手と技術者の的確な判断と柔軟な対応による計画見直しによる工程の不確定要素の排除により効率化、工程の簡素化などによる合理化施工の実現、目的達成と課題克服への枠組みを示した。

第 4 章では高度情報化施工を実現させる支援システムである施工 CALS の要求機能を明確にし、大規模土工事へ適用し運用する施工 CALS を開発した。本システムの研究においては、重機のサイクルタイム、運搬量、破砕機の負荷、ベルトコンベアの積込みレートおよび土運船の到着時間など採掘地から船積み桟橋までの情報を必要な情報に加工し、リアルタイムに提供するための GPS 技術の開発、光ケーブルや IC カードなどの IT 機器の大規模土工事へ適用するための技術開発といった情報収集のためのハード機器の研究だけでなく、コスト縮減と環境負荷低減を実現するために、採土地の重機稼動、地質情報や生産量などをリアルタイムに把握するための情報収集に対する 3 次元マッピング機能、さらにはネットワークを利用し､各情報ユニットに格納して一元的に系統立てて管理するための GIS を利用した情報管理、判断支援機能といった要素技術の研究開発についての詳細を示した。

第 5 章では施工 CALS による高度情報化施工の適用事例を施工情報の一元化、リアルタイム化、共有と双方向化、工程の簡素化、データベースを活用した火薬使用量の合理化、採掘計画の立案などで示した。その効果も適用工事の目標達成、重機の最適配置、工事コストの低減、CO_2 の排出量など環境負荷の低減など成果で検証した。

以上より、大規模土工事へ高度情報化施工の導入と支援システムである施工 CALS を開発し、施工 CALS による高度情報化施工を運用することにより、情報技術を活用し入手した情報により刻々と変化する施工状況へ的確な判断と柔軟に対応により、不確定要因を見込んで立てられた設計や施工計画より過剰となる要素を排除につながるために効率化と工程の簡素化などにより施工の合理化が図れること。その結果、品質、コスト、工期、安全、労務、環境など工事の様々な要素の中から選択した任意の要素についても合理化が可能であることを示した。選定する要素は一つだけでなく複数の選定も可能であり、適用工事でのコスト縮減と環境負荷低減など相反する要素の合理化は、複数の要素に対し両立しての合理化が可能である事を示した。

本研究による施工 CALS の開発と運用で示したように「情報ユニット」という情報媒体を介して，個別に展開されているすべての情報化施工技術に関連性を持たせた上でこれらを有機的に結合させることにより、適用工事の施工支援システムを１つの統合化システムとして実用化した。このベースになっているものが空間的な地理情報を取り扱うことのできる３次元 GIS であり、リアルタイムの情報活用による先取り管理を固有技術を保有する技術者に判断させる機能を持たせた先駆的かつ実用的な事例でもある。適用工事の運用では、リアルタイムの情報を技術者が活用し、計画の余分な不確定要素の排除による効率化と工程の簡素化などを実現させ、広域に多くの工事参画者を配置する適用工事のサイトでの協働により示した多くの成果は、本研究目的の達成の取りまとめにつながった。

残された課題としては、施工 CALS による高度情報化施工の汎用性と施工 CALS の管理単位の適合性についての見解を示す。

(1)施工 CALS による高度情報化施工について

施工 CALS による高度情報化施工に残された課題はその適用が施工段階にとどまったこ

とであり、具体的には、供用時の維持管理時の構築物のブロックなどを管理単位とすれば、高度情報化施工と施工 CALS の適用は、供用時のメンテナンス情報の活用までに拡大が可能となり、LCC の最適化へも適用が可能な技術である。LCC 低減へ調査～設計～施工～維持管理という一連の建設ライフサイクルの中で発生する情報を適切に管理・利活用する(図 6-1)ことが、これまでの建設事業の進め方を変革するきっかけとなることを期待する。

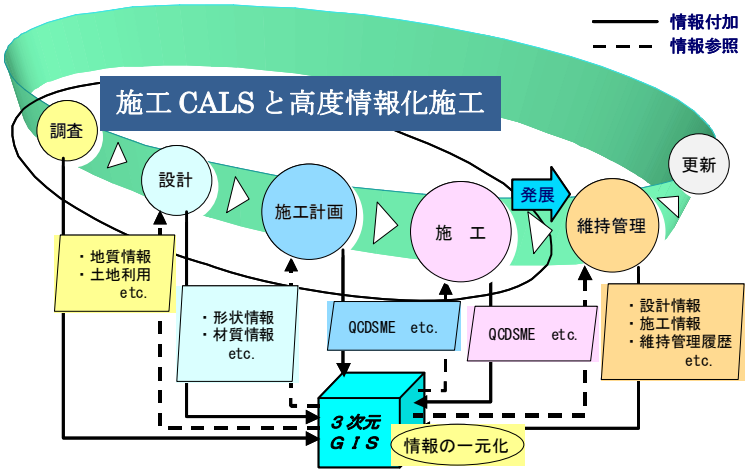


図 6-1　高度情報化施工と施工 CALS の適用による LCC の低減への発展

(2)施工 CALS の管理単位について

各種データを格納し管理単位としたキューブの一辺の寸法を 10m としたため、格納させるデータを一部に代表値を採用したことが課題としてあげられる。本管理単位の容量 1,000 地山 m^3 は大型積込み機の 1 時間当たり積込み量に該当し、施工情報のリアルタイム化などに大きな優位性を発揮したのは第 5 章に示したが、発破工法の盤打ち発破の発破高さが 3m、6m など 10m を下回る工法を採用したため発破実績、地盤などデータのいずれかを代表値として扱ったことにより一部に適合が不十分であった。1998 年システム開発当時の情報機器の情報容量の限界によるものが主な原因であったが、現状では機器類の大容量化など進歩により解決し、より高度かつ広範囲での取組みへの環境が整った。

マネジメント技術と情報通信技術による施工支援技術は建設マネジメント施工分野の推進の両輪である。情報通信技術の進歩は、大量情報の処理、高速処理、省人化での情報入手などを実現させ、さらに日進月歩で進化しており、高度情報化施工、精密施工から次のマネジメントへと建設マネジメントへの進歩が求められている。コスト縮減、公害防止など閉塞感と受身の土木技術から一歩前進し、市民生活の安全と快適など付加価値を高かめる土木技術へ、本技術の適用による建設マネジメントの高度化に基づく改革と成果を期待している。適用工事の運用では、施工工程に含まれる計画の余分な不確定要素を排除するという新しい枠組みの実践で、実施事例と多数の成果を示した事より、本研究に対し十分な成果をとりまとめ、目的を達成した。

写真 6-1　造成が完了した適用工事（2005 年空撮，南側より津名サイトを望む）

写真 6-2　造成が完了した適用工事（2005 年空撮,北側より津名サイトを望む）

謝　辞

筆者は、本プロジェクトの立ち上げから関空 1 期完了までを管理部門の一員として適用工事にたずさわり、1991 年 5 月には事業責任者として赴任し、関空 2 期への立上げへ指揮・監督する責任者の任にあったことから、本マネジメント技術の導入、支援システムを開発と運用を施工実務を通じてその研究成果を取りまとめたものである。1986 年に関空 1 期工事をはじめ大阪湾臨海部へ埋立て材料他の供給を目的に採掘を開始した適用工事が、1999 年 12 月より関空 2 期造成工事向けに出荷、2003 年 11 月に関空 2 期への出荷を完了、2005 年 3 月には長年にわたり多くの関係者に支えられた事業が無事、工事結了した。

本論文の作成にあたりご指導とご高配を賜った京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻大西有三教授には、心から感謝とお礼申し上げる。また、京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻青木謙治教授と京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻大津宏康教授には、貴重なご助言を賜り心からお礼申し上げる。

立命館大学理工学部建築都市デザイン学科建山和由教授には、本研究の実用化段階からこの研究論文をまとめまで終始ご指導を賜った、心から感謝とお礼申し上げる。

京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻西山哲准教授には、親身にご指導とご高配をいただいた、心から感謝とお礼申し上げる。

京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻谷口栄一教授、大阪産業大学工学部土木工学科芹生正巳元助教授、立命館大学理工学部環境システム工学科早川清教授、大阪産業大学工学部都市創造工学科佐野郁雄准教授には、本研究にあたりご激励を賜り、心から感謝申し上げる。

兵庫県藤本和弘元副知事、関西国際空港用地造成株式会社古土井光昭代表取締役専務、淡路市門康彦市長、津名町柏木和三郎元町長には、本研究と事業遂行にあたりご激励を賜り、心から感謝申し上げる。

株式会社間組下村嘉平衛元常務取締役、大阪支店揚野孝輔元支店長、久保晴茂顧問、技術研究所世一英俊所長、黒台昌弘氏、㈱ジオスケーブ須田清隆社長、小野正樹課長には、本研究にあたりご激励とご交配を賜り、心から感謝とお礼を申し上げる。

なお、本支援システムの開発によるマネジメント技術の成功により、平成 14 年度の土木学会技術開発賞の栄誉に浴することができ、導入運用へ指揮・監督した土木技術者の一人として感激に堪えないところであります。

もちろん論文の取りまとめられたのも、家族の支援あってのおかげであり、自宅での作業を温かく見守ってくれた妻礼子、長男大輔、次男佑輔、長女映子に感謝する。また、鉄道マンとして生き今は亡き父壽吉、阪神淡路大震災の前年に亡くなった母和子、暖かく声援を送ってくれた義父森田和夫と義母たけ子に感謝とともにこの書をささげる。

最後に、津名プロジェクトにより実現した広大で良好な環境の造成地の利用が、淡路市の地域振興と発展につながることを記念して結語とする次第であります。

以上

参　考　文　献

1) 須田清隆;松本茂生;石原公明;池松建治;可児憲生.大規模土工管理システム（CIEMIS）による施工支援－生産性の向上を目的としたエンジニアリングシステム－第29回情報科学技術研究集会発表論文集.1992,pp149-157.

2) 須田清隆.可視化情報を利用した生産管理技術.土木施工.Vol39,no1,1998,pp17-21.

3) 須田清隆.3 次元 GIS と CAD の融合利用～3 次元 GIS と空間情報.JASIC 情報.Vol.14,no2,1999,pp61-65.

4) 湊隆次郎;政岡龍司;十河泰彦;黒台昌弘.GPS 測量システムによる土量管理－橘湾火力発電所敷地造成工事の例－,ハザマ研究年報,1998,pp309-319.

5) 緒方健二;益村公人;黒台昌弘;大西崇士.丘陵地帯におけるGPS締固め管理システムの運用範囲の設定に関する考察,土木学会第 55 回年次学術講演会,2000,pp426-427.

6) 建山和由,IT と建設施工－Precision Construction の試み－.建設の機械化 3 月号,2002,pp3-7.

7) 平岡成明編著;菊川滋監修,現場技術者のための建設 CALS/EC ポケットブック,山海堂,1999,pp84-88.

8) (社)日本建設業団体連合会;(社)日本土木工業会;(社)建築業協会.2007 建設業ハンドブック,2007,pp24.

9) 福田収一著.コンカレントエンジニアリング.培風館.1993,pp3-13.

10) 西山英勝.建設人ハンドブック 2007 年版・時事解説.㈱日刊建設通信新聞社,2006,pp187.

11) (社)日本建設業団体連合会;(社)日本土木工業会;(社)建築業協会.2007 建設業ハンドブック,2007,pp22.

12) 大前延夫,沖正和,奥村敬司,須田清隆,小野正樹,黒台昌弘,澤正樹: 建設工事における施工 CALS の開発と展開～施工情報の有効利用と施工プロセスの改善～,ハザマ研究年報 Vol38,4,1-8,2007,3.

13) 澁澤栄.精密ほ場管理とテラメカニクス,テラメカニクス,第 18 号,1988,pp107-112.

14) 澁澤栄.精密農法の現状と展望,今月の農業,2000 年 10 月号,2000,pp-.

15) 大前延夫;建山和由;沖政和;須田清隆;黒台昌弘.GIS を活用した精密施工支援システムの開発－開発コンセプトとシステムの全体構成－,第 27 回土木情報システムシンポジウム講演集,2002,pp41-44.

16) 大前延夫, 建山和由,須田清隆,黒台昌弘:大規模土工事の現場管理における統合化システムの開発と展開,土木建設技術シンポジウム 2002 講演集,pp156-163,2002,5.

17) 大前延夫,海老原雄志,沖政和,建山和由,須田清隆,黒台昌弘:大規模土工事における施工 CALS の開発－関西国際空港 2 期建設工事への土砂供給事業に適用した精密施工の事例－,平成 15 年度施工技術報告会,pp11-20,2004,1.

18) 大前延夫, 建山和由, 海老原雄志, 澤正樹, 黒台昌弘:GIS を活用した精密施工支援システムの開発－リアルタイム生産量積算システムについて－,第 27 回土木情報システムシンポジウム講演集,pp45-46,2002,10.
19) 大前延夫, 建山和由,海老原雄志,沖政和,須田清隆: 大規模土工事における精密施工法の導入･運用とその効果,第 27 回土木情報システムシンポジウム講演集,pp47-48,2002,10.
20) 大前延夫, 海老原雄志,奥村敬司,澤正樹:光ケーブルを用いた総合施工管理システムの開発・導入－津名東生産団地造成工事の例－,間組技術年報 土木・機械編－2000－,pp105-111,2002,3.
21) 大前延夫,澤正樹:光ケーブルを用いた総合施工管理システムの開発・導入－淡路島・津名採土地における導入事例,土木学会第 56 回年次学術講演会,pp270-271,2001,10.
22) 大前延夫,澤正樹,丸山能生:現場内ネットワークを用いた大規模土工事の施工管理システム,土木学会四国支部 第 7 回技術研究発表会 論文集,pp438-439,2001,5.
23) 大前延夫, 海老原雄志,沖正和,国枝重明,今若弘孝:大規模土工事における大型重機稼働実績－関西国際空港Ⅱ期工事への土砂供給事業における事例－,間組技術年報 土木・機械編－2003－,pp100-111,2003,3.
24) 菅野文友著.信頼性工学の基礎.日刊工業新聞社.1978,pp17-25.

参　考　資　料

11. 施工 CALS により収集したサイクルタイムによる検証

採土工事の情報を施工 CALS により、多くのデータを自動収集し必要な情報に加工し、リアルタイムに配信している。採掘作業の管理者は、その必要な情報を把握しつつ採土作業の運営管理している。加工情報の中でも、ダンプトラックの運搬量異常時の原因究明と対策立案につながるダンプトラックのサイクルタイムは、重要なプロセス管理の項目である。

積込み機械 1 台あたり、3 台～2 台のダンプトラックを配置しそのサイクルタイムが目標値を大きく上回っていないかを確かめている。図 12-1 のように、重ダンプ B が 50～70 秒上回っている場合などはダンプ稼働の原因を調査し、全体採掘量に影響ある場合は適切な対策を取る必要がある。この場合は、積込み切羽を運搬距離の近い個所に変更し採掘量の低下を防いだ事例である。

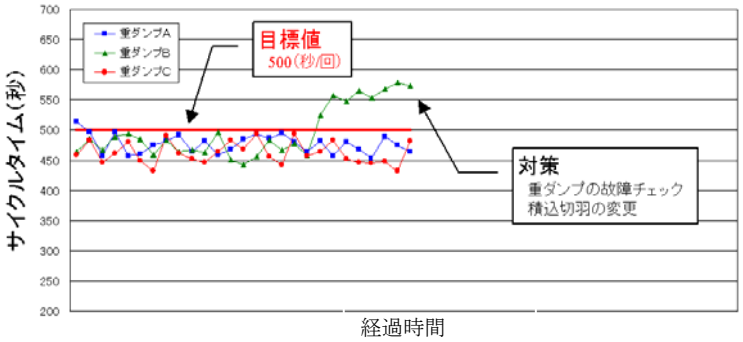


図 11-1　ダンプトラック運搬量の異常時の
サイクルタイムデータによる検討例

このように得られた多くのサイクルタイムを活用し、効率的な採掘であることをデータを解析し検証する。使用したデータは、2000 年 6 月～12 月の 6 か月のデータである。図 12-2 に示す重機組合せ別サイクルタイム集計樹形図に基づき、積込み機、運搬ダンプトラック台数の組合せと運搬距離別にサイクルタイムを集計し、施工 CALS にて加工集計されたサイクルタイムを検証した。

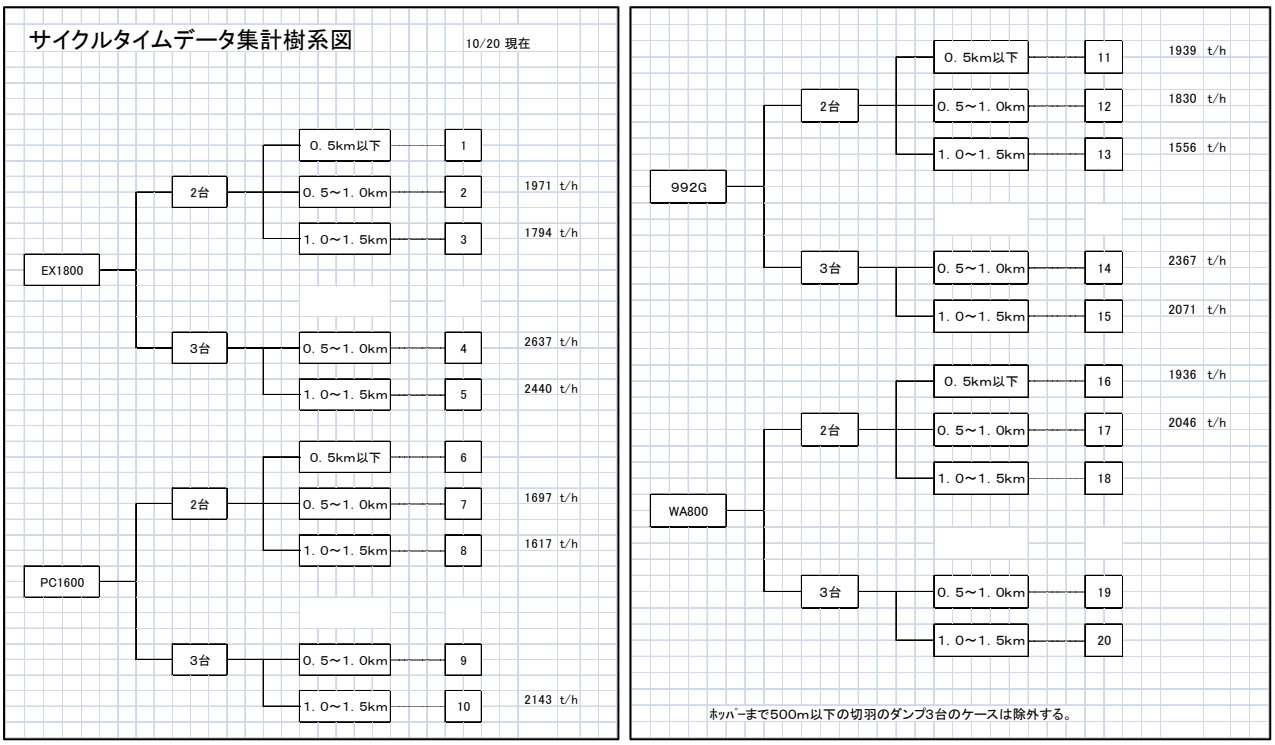


図 11-2　重機組合せ別サイクルタイム集計樹形図

(1)　積込み機による運搬距離別の時間採掘量

図 11-3 は、積込み機、ダンプトラック台数セットと運搬距離の関係を横軸に運搬距離、縦軸に時間当たり運搬量とし積込みセット数、運搬距離と運搬量の関係を示した。その関係は、直線回帰し切片がマイナスの一次式となる。一次式より、3 セット DT9 台での時間当たり採土量は 6,072～6,796t/時間程度が見込め、重機配置の組合せで、1 日の採土量の見込みが予想できる。同様に、積込み機 4 台(予備機 1 台を含む)とダンプトラック 10 台(予備機 1 台を含む)の 3～4 セットの組合せによる時間当たり運搬量を算定すると 3 セットで 77,000 t /日(3 セット 11h 稼働、45,000m^3/日)～79,200t/日(4 セット 11h 稼働、46,000m^3/日)となり、運搬距離が長い硬岩が多いなど採掘条件が悪い場合には予備機を投入し 4 セットとすれば 4 万 m^3/日の採土量の確保できることを示している。

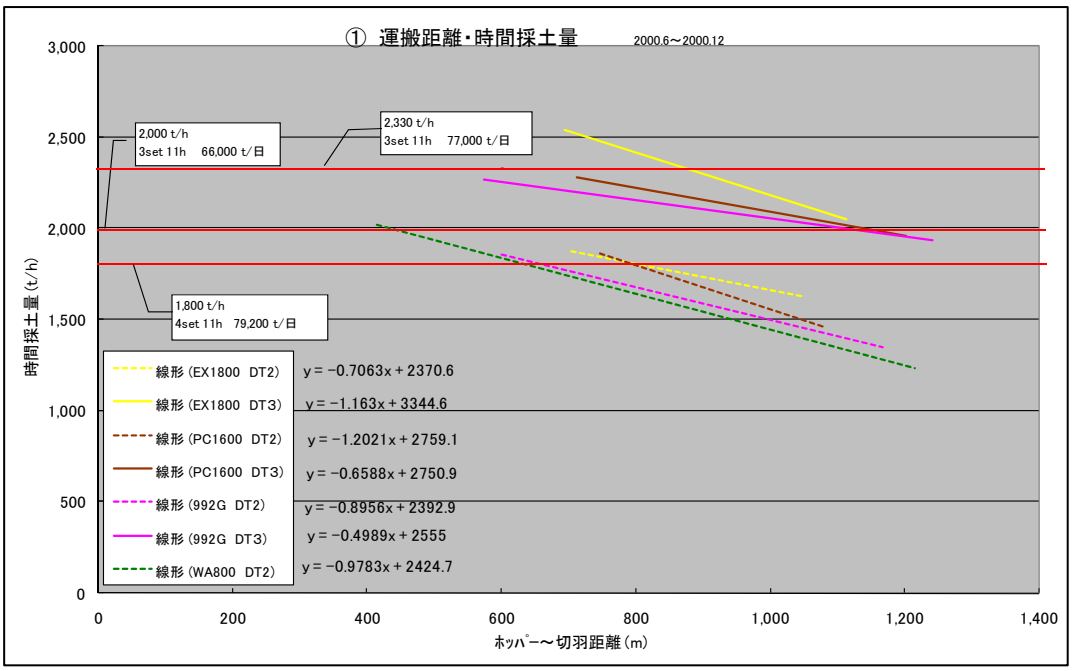


図 11-3　　運搬距離と時間採掘量

(2) 運搬距離とサイクルタイムの相関図

積込み機械とダンプトラック台数 2 台(図 11-4)と 3 台(図 11-5)別に運搬距離(投入口(ﾎｯﾊﾟｰ)と切羽距離)サイクルタイムとの相関を示したものである。

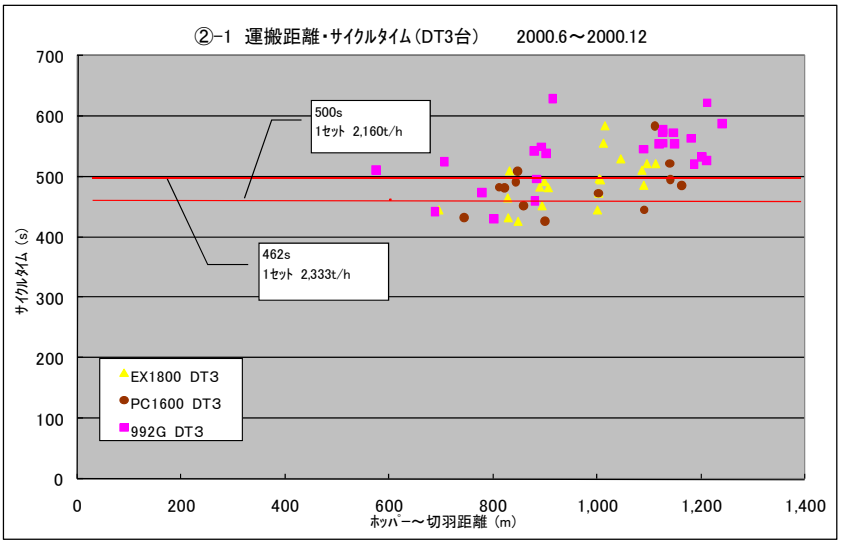


図 11-4　運搬距離とサイクルタイム(DT 3 台)

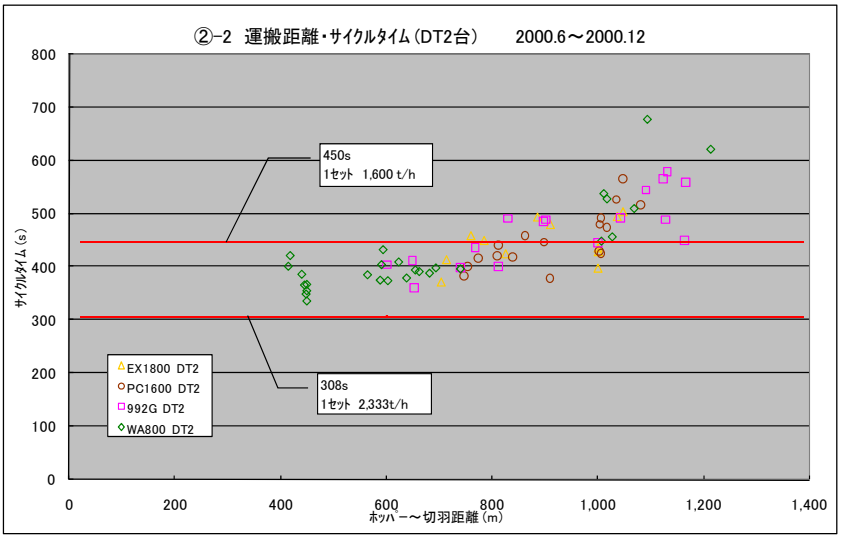


図 11-5　運搬距離とサイクルタイム(DT２台)

図 11-4、図 11-5 より距離とサイクルタイムには相関があり、距離 1000m 以下では目標サイクルタイム 8 分 30 秒をクリアできることを示している。同じ距離でのサイクルタイムのバラツキは対象土質と発破工の爆砕状態の差と考察できる。

(3) 積込み機の運搬距離と積載量の相関図

EX1800 と PC1500 のバックホウの 2 機種とホイールローダ(992G)について運搬距離と積込み量の関係をダンプトラックが 2 台と 3 台に層別し、相関を見る。

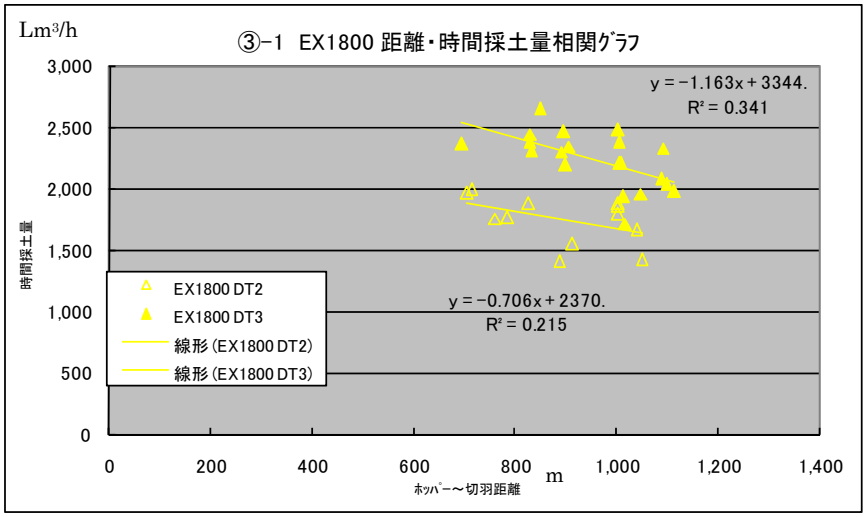


図 11-6　バックホウ(EX1800)の運搬距離と採掘量

また、ホイールローダ(WA800)については、運搬距離と積込み量の関係をダンプトラック

が 2 台について相関をみた。これは、図 11-4 と図 11-5 の運搬距離とサイクルタイムの異常時の原因検索機能として集計調査できることを確認したものであり、図 11-7～11-9 に積込み機別の相関図を示す。時間積込み量と運搬には負の相関がありデータの妥当性を示しているが、相関係数にバラツキが大きく、バックホウの相関度が低いことを示している。これは重機併用発破工法によるため積込み岩質と発破の効き具合による変動であり、ホイールドーザの稼働については、ブルドーザによる集土を行っているため岩質と発破の影響が小さいことによる。

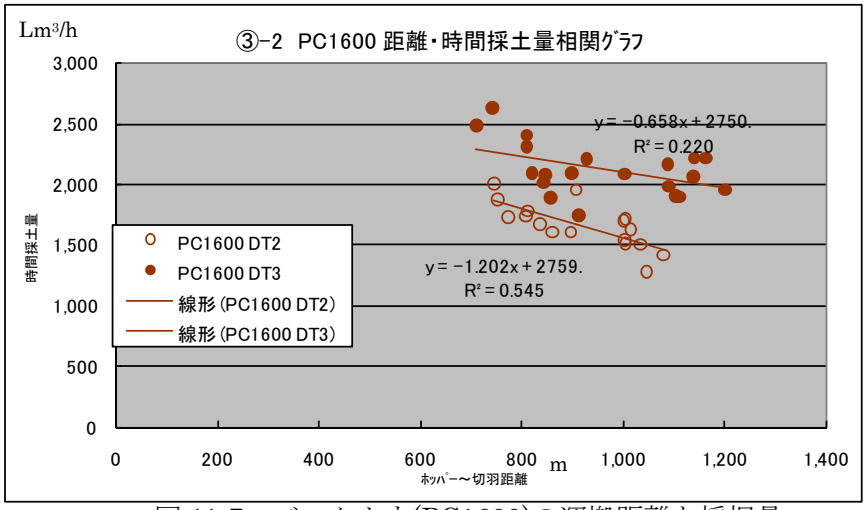


図 11-7　バックホウ(PC1600)の運搬距離と採掘量

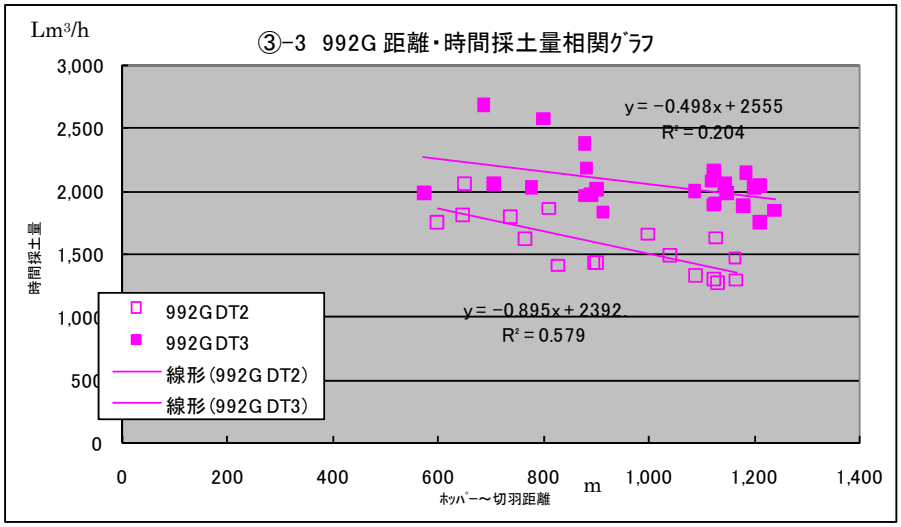


図 11-8　ホイールローダ(992G) の運搬距離と採掘量

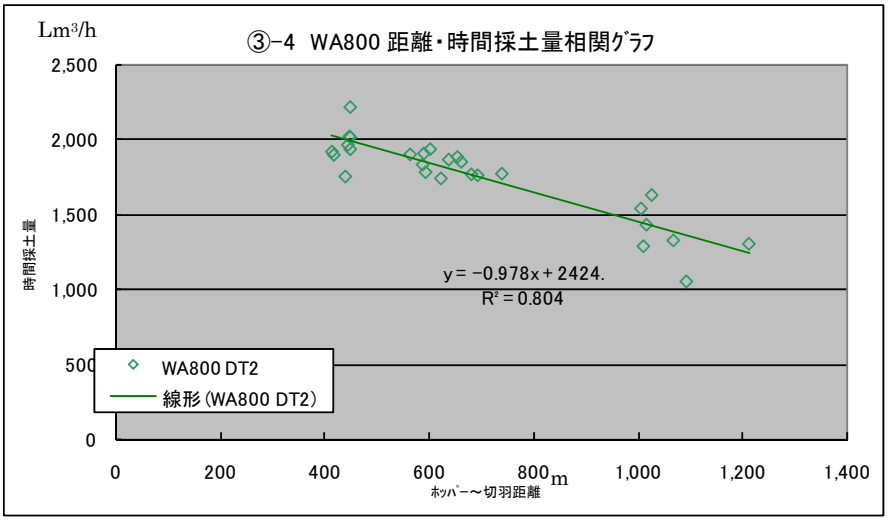


図 11-9　ホイールローダ(WA800) の運搬距離と採掘量

(4) ダンプトラックの平均走行速度のグラフ

積込機械別のダンプトラックの平均走行速度のグラフであり、平均速度は平均走行距離データを走行時間データの切り替え待機など停車時間を含む走行時間で除したものであり、完全な停車時間は除外されているが徐行など完全な停車以外は含まれるため、実際の走行速度よりは小さい。

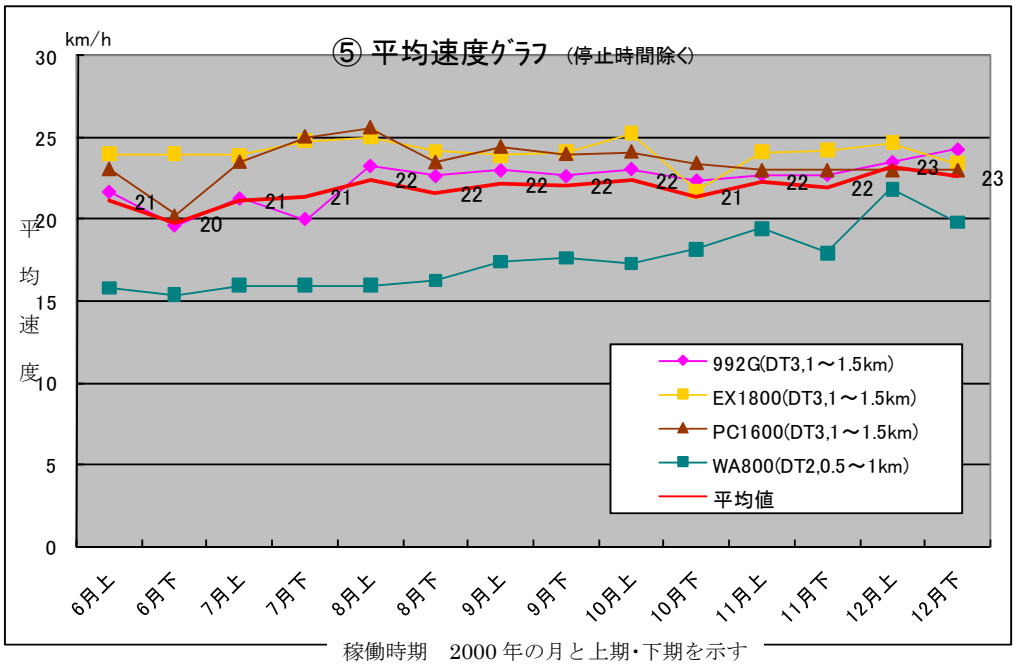


図 11-10　積込み機別のダンプトラック平均走行速度

図 11-10 の平均値の推移より 6 月から 12 月の間で 2km/h 速度が向上し、これは 7 月に走路を直線化し切り替えた走路改善(表 3-7)の効果も含まれている。また、WA800 の平均速度が遅いのは近距離にスポット支援に配置されているのが原因である。以上は、リアルタイムにサイクルタイムなど稼働データを把握できる採土管理の成果が平均速度にも発現していることを示している。

(5) 積込み機別の平均サイクルタイムと平均走行距離の相関

積込み機別の平均サイクルタイムと平均走行距離の推移を、バックホウ 2 台(EX1800 と PC1600)とホイールロー2 台(992G と WA800)についてそれぞれについてグラフ化した。これは、運搬距離がサイクルタイムへどの程度影響するかなどを把握するためであり、その結果は図 11-11 は EX1800(日立建機製)、図 11-12 は PC1600(コマツ製)のバックホウを示す。図 11-13 は 992G(キャタピラ製)、図 11-14 は WA800(コマツ製)のホイールローダのデータである。

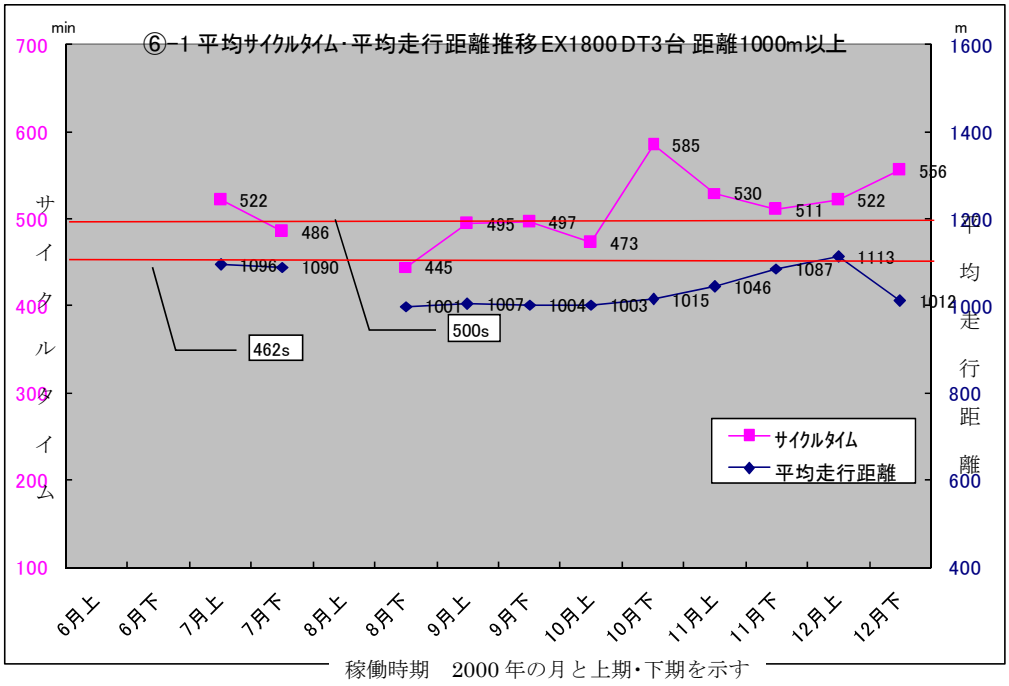


図 11-11　バックホウ(EX1800)による運搬距離(1000m 以上)と平均サイクルタイム

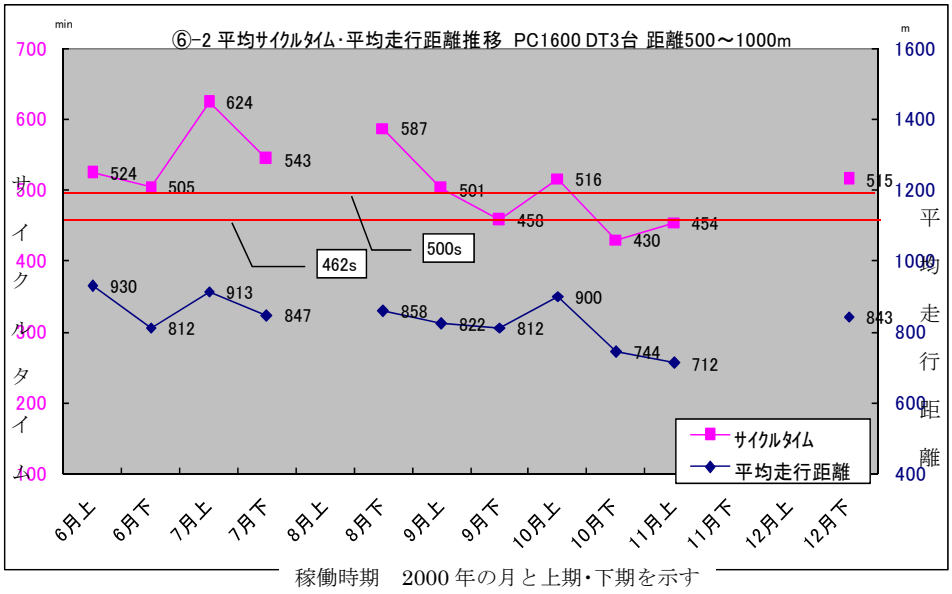


図 12-12　バックホウ(PC1600)による運搬距離(1000m 以上)と平均サイクルタイム

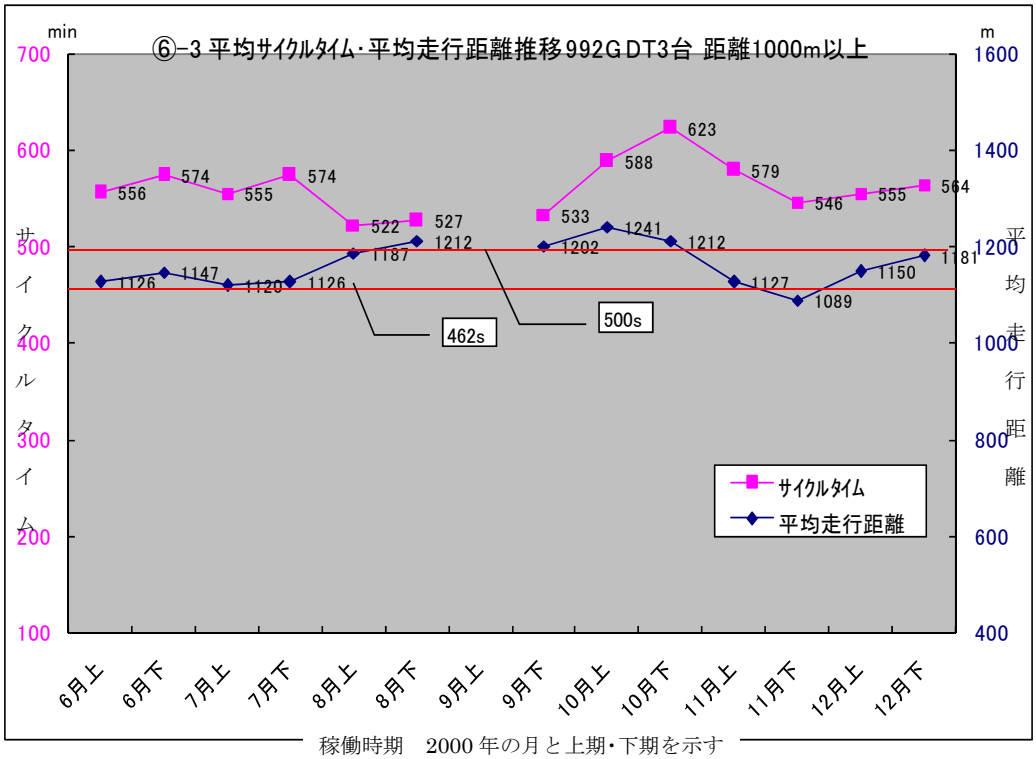


図 11-13　ホイールローダ(992G)による運搬距離(1000m 以上)とサイクルタイム

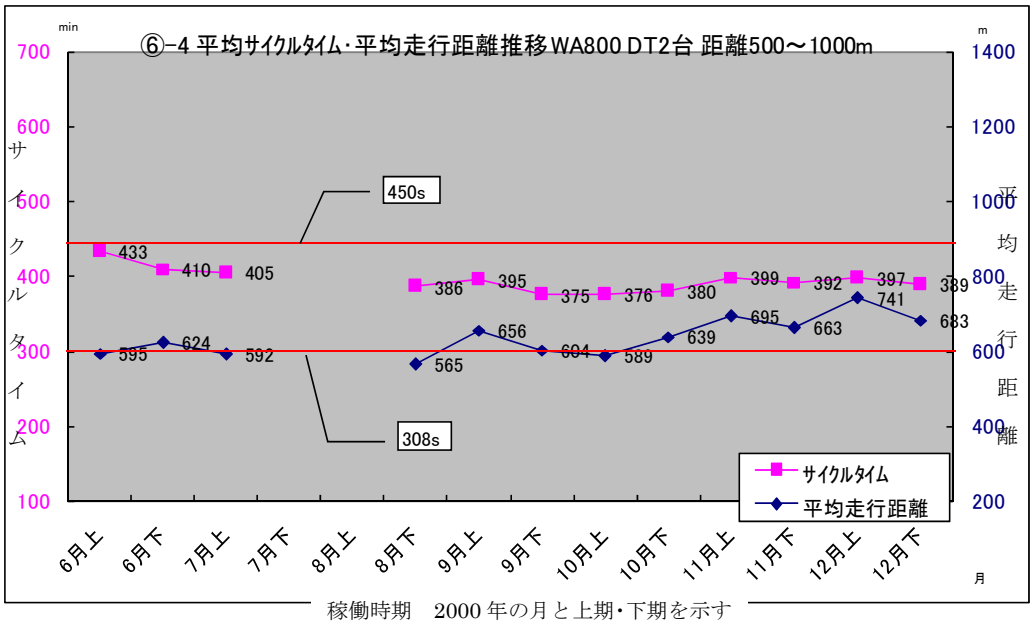


図 11-14　ホイールローダ(WA800)による運搬距離(500～1000m)とサイクルタイム

それぞれのグラフより、サイクルタイムと平均速度の線形の相関度と各数値の比較より、積込み時間の影響も含まれてるが、それ以上に切羽までの距離がサイクルタイムに影響を及ぼしていることが判明した。走行距離が長いことによるサイクルタイムの短縮効果が大きく、走路の改善は効果が大きい。

(6) 平均サイクルタイムと軟硬岩比率推移との相関

積込み機別の平均サイクルタイムと軟硬岩の混入比率の推移を､バックホウ 2 台(EX1800 と PC1600)とホイールロー2 台(992G と WA800)についてグラフ化した。図 11-15 は EX1800(日立建機製)、図 11-16 は PC1600(コマツ製)のバックホウを示す。図 11-17 は 992G(キャタピラ製)、図 11-18 は WA800(コマツ製)のホイールローダのデータである。

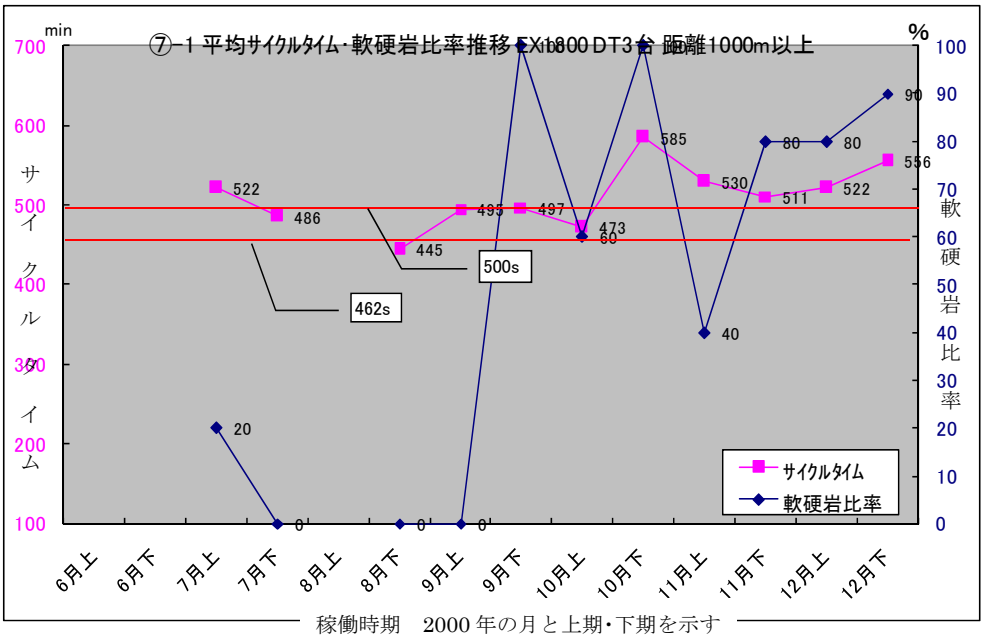


図 11-15　バックホウ(EX1800)軟硬岩比率と平均サイクルタイム

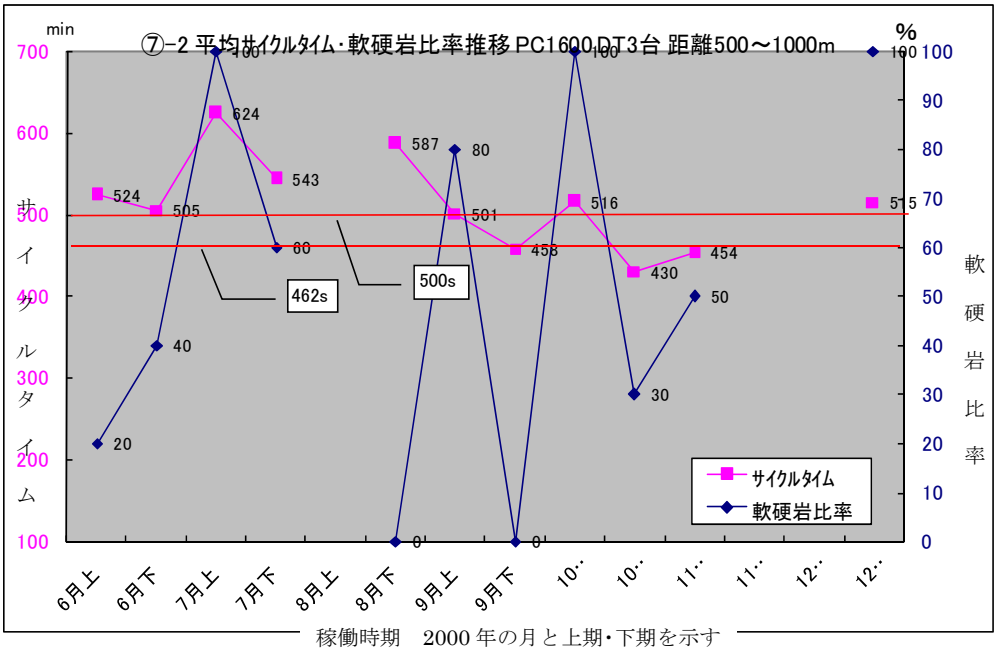


図 11-16　バックホウ(PC1600)軟硬岩比率
と平均サイクルタイム(DT3 台,運搬距離 500～1000m)

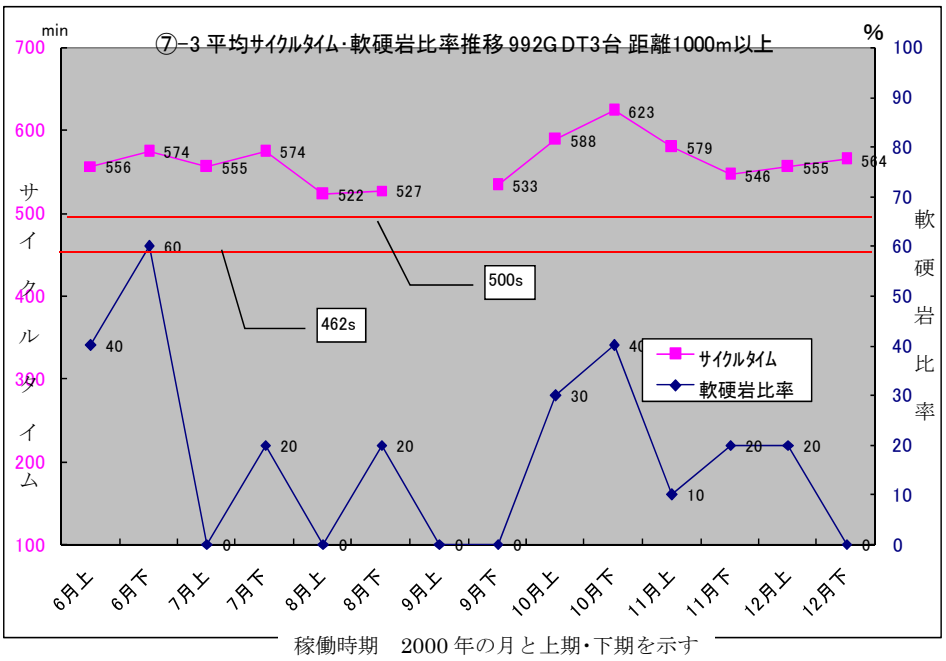


図 11-17　ホイールローダ(992G)軟硬岩比率
と平均サイクルタイム(DT3 台,運搬距離 1000m 以上)

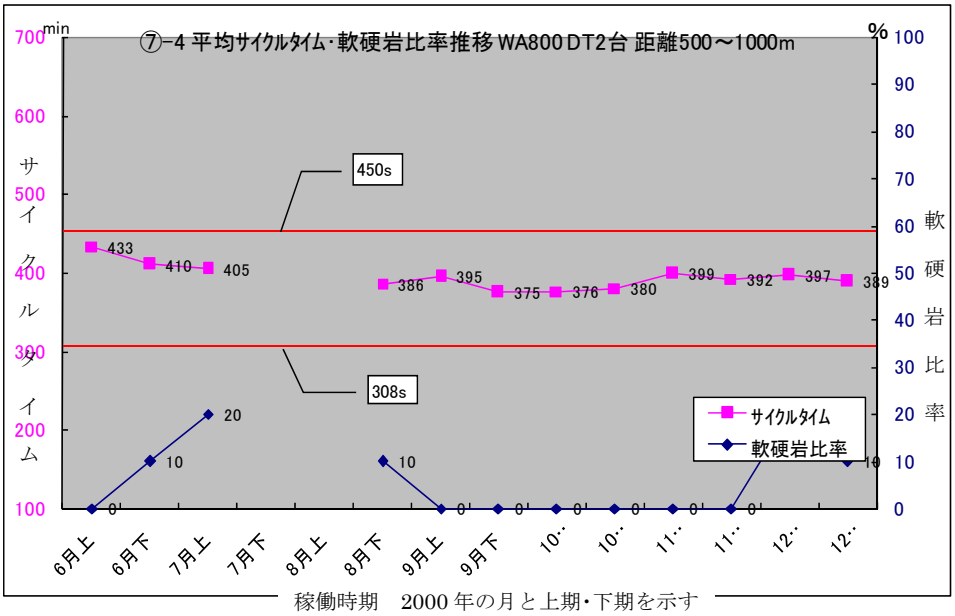


図 11-18　ホイールローダ(WA800)軟硬岩比率
と平均サイクルタイム(DT2 台,運搬距離 500～1000m)

硬岩の混入による積込み効率の低下がサイクルタイムにどの程度影響を及ぼすかを検証しようとしたが、硬岩混入による積込み効率の変化はサイクルタイムに影響を及ぼしてい

ない結果となった。

ただし、図 11-19～図 11-23 に示す各積込み機別の積込み時間と積込み量を図示したものについては、当然のことながら相関度合いは高く、積込み時間の長時間化は運搬オペレータの走行、切替え、待機などの要素への時間短縮によりサイクルタイムの低下防止が図られたことが判明した。このことも、リアルタイムにデータを把握、データを遡及しての把握が可能なシステムの効果である。

(7)その他

バックホウの積込み時間と積載量、積込み時間と軟硬岩の比率について調べた。それぞれについて有意までは至らないが相関は得られた。

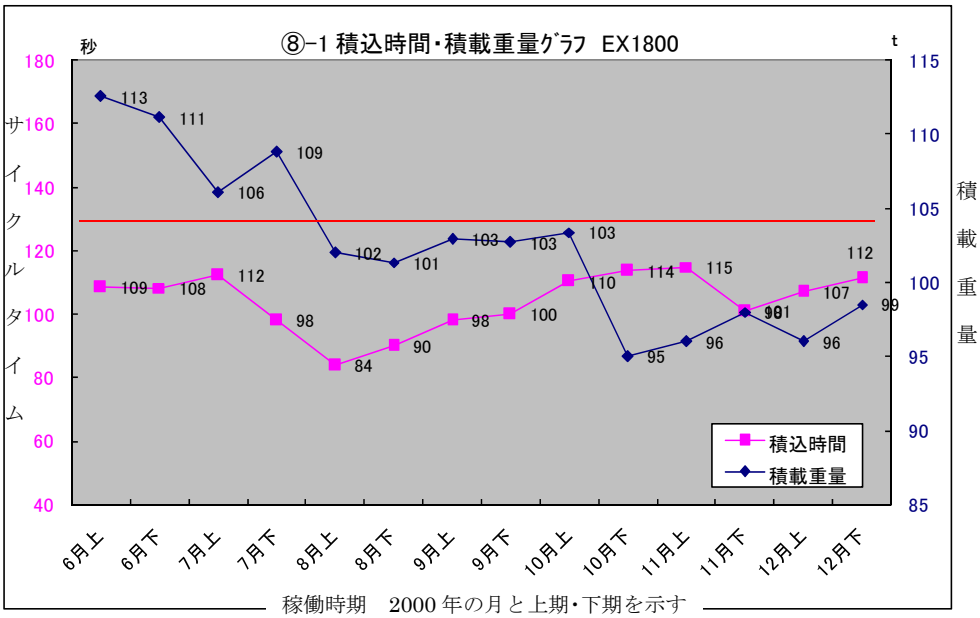


図 11-19　バックホウ(EX1800)による積込み時間と積載

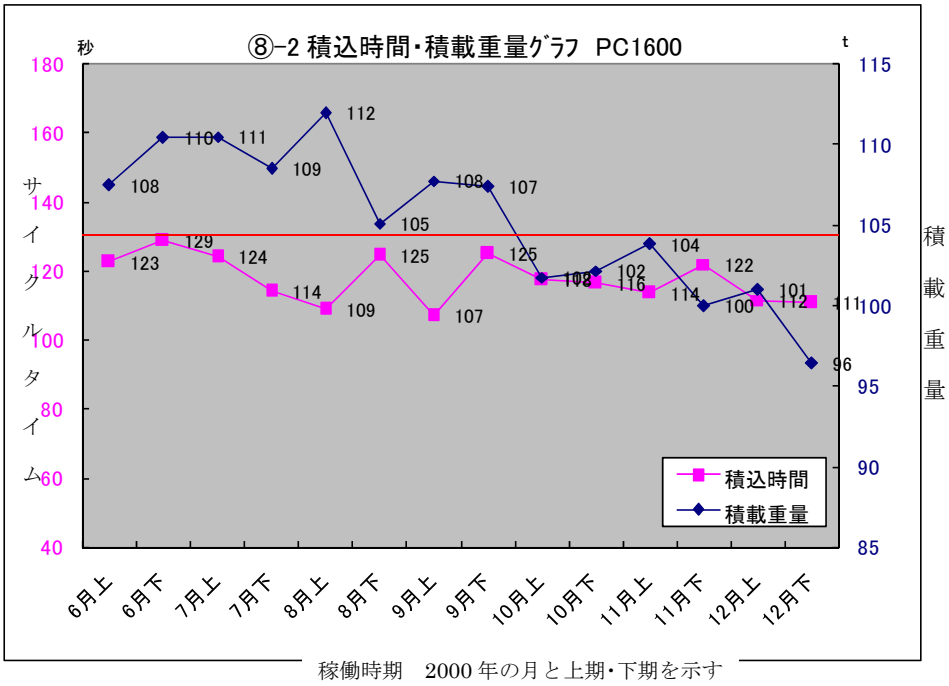


図 11-20 バックホウ(PC1600)による積込み時間と積載量

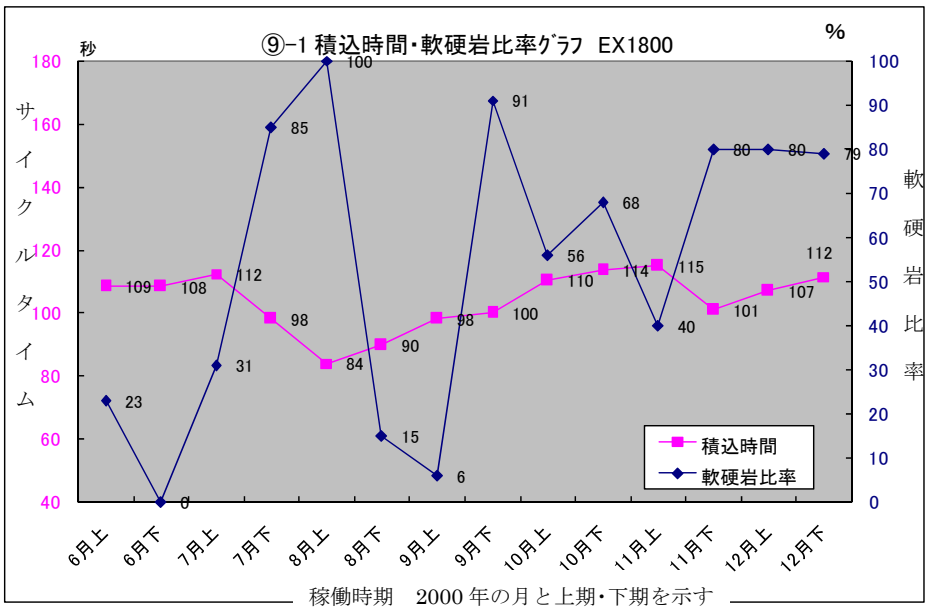


図 11-21 バックホウ(EX1800)による積込み時間と軟硬岩比率

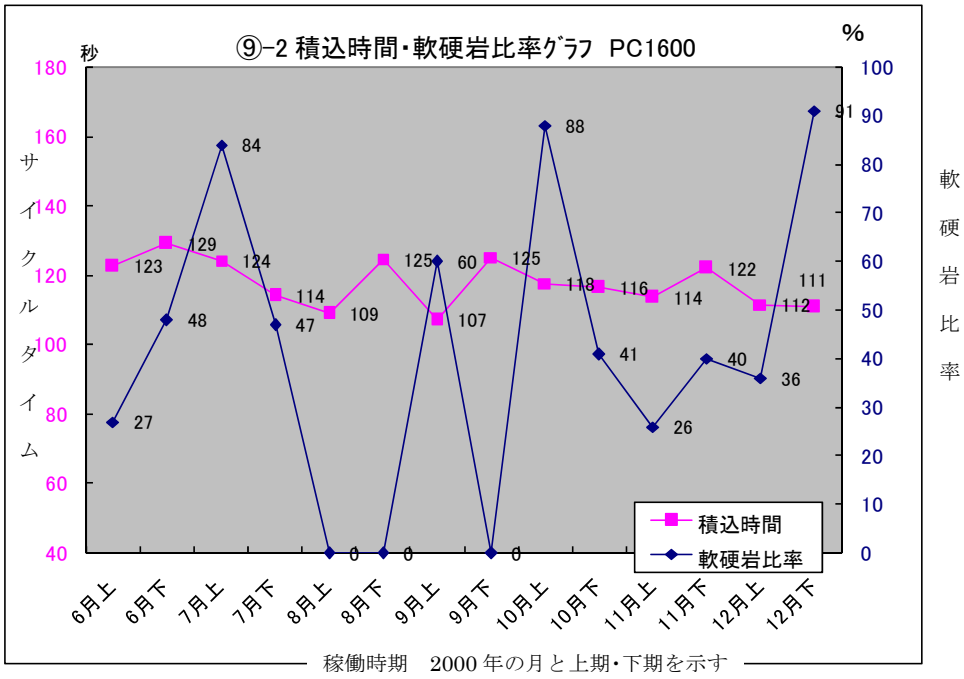


図 11-22　バックホウ(PC1600)による積込み時間と軟硬岩比率

12.　品質管理データ

品質管理データは、3.3.1.3 供給材料の品質管理基準に対し、その実施結果を 2002 年 1 月より約 6 か月のデータにて示す。

(1) シルト分以下の細粒含有率試験

75μ以下の細粒含有率をメスシリンダー法(写真 13-1)にて測定した結果を表 13-1 に示す。品質管理基準20パーセント未満に対して月次平均で6.6～7.6パーセントと管理基準値をクリアしている。

表 12-1　シルト分以下の細粒含有率試験結果(2002 年 1 月～6 月)

日時	測定値				月次平均	備　考
	データ ①	データ ②	データ ③	平均		
2002 年 1 月 7 日	7.8	7.7	9.3	8.3	7.6	
2002 年 1 月 10 日	6.4	7.5	11.2	8.4		
2002 年 1 月 11 日	8.5	8.9	8.6	8.7		
2002 年 1 月 12 日	9.4	10.9	13.4	11.2		
2002 年 1 月 15 日	8	8.8	8.2	8.3		
2002 年 1 月 16 日	3.1	4.1	3.4	3.5		
2002 年 1 月 17 日	10.5	10.2	12.7	11.1		
2002 年 1 月 18 日	7.0	6.2	6.4	6.5		
2002 年 1 月 19 日	8.8	8.8	7.2	8.3		
2002 年 1 月 21 日	7.6	8.8	7.4	7.9		
2002 年 1 月 24 日	6.4	6.7	6.7	6.6		
2002 年 1 月 25 日	5.9	6.2	5.9	6.0		
2002 年 1 月 26 日	6.3	6.4	6.1	6.3		
2002 年 1 月 28 日	6.7	6.4	7.5	6.9		
2002 年 1 月 29 日	6.1	6.9	6.4	6.5		
2002 年 1 月 30 日	6.7	7.5	6.5	6.9		
2002 年 1 月 31 日	8.4	7.4	7.8	7.9		
2002 年 2 月 1 日	6.2	7.4	7.1	6.9	7.1	
2002 年 2 月 2 日	7.2	5.9	5.6	6.2		
2002 年 2 月 4 日	7.9	6.6	7.8	7.4		
2002 年 2 月 5 日	6.8	8.4	8.8	8.0		
2002 年 2 月 6 日	6.7	5.9	6.5	6.4		
2002 年 2 月 7 日	6.4	6.0	5.0	5.8		

2002年2月8日	7.6	7.4	5.9	7.0		
2002年2月9日	7.6	6.7	7.2	7.2		
2002年2月12日	7.3	6.4	5.6	6.4		
2002年2月13日	9.8	7.3	7.7	8.3		
2002年2月14日	7.8	6.7	6.7	7.1		
2002年2月15日	7.1	7.8	6.8	7.2		
2002年2月16日	5.7	7.9	7.6	7.1		
2002年2月18日	7.4	8.5	6.3	7.4		
2002年2月20日	6.8	7.4	8.0	7.4		
2002年2月21日	8.6	7.9	7.4	8.0		
2002年2月22日	7.4	7.2	5.7	6.8		
2002年2月23日	7.8	6.0	6.2	6.7		
2002年2月25日	7.8	7.4	5.8	7.0		
2002年2月26日	7.9	6.7	7.0	7.2		
2002年2月27日	8.3	7.6	8.8	8.2		
2002年2月28日	6.8	5.9	7.9	6.9		
2002年3月1日	7.3	5.6	5.8	6.2	7.0	
2002年3月2日	6.9	5.9	6.2	6.3		
2002年3月3日	7.9	7.4	6.3	7.2		
2002年3月4日	6.7	6.6	6.9	6.7		
2002年3月5日	6.4	5.7	7.6	6.6		
2002年3月8日	6.5	6.6	6.3	6.5		
2002年3月9日	7.6	7.4	5.9	7.0		
2002年2月9日	6.7	6.6	6.1	6.5		
2002年3月11日	6.4	7.5	7.8	7.2		
2002年3月12日	6.6	6.4	7.3	6.8		
2002年3月13日	5.8	6.4	7.1	6.4		
2002年3月14日	7.5	8.3	7.3	7.7		
2002年3月16日	6.7	5.8	6.0	6.2		
2002年3月18日	7.6	6.8	6.2	6.9		
2002年3月19日	8.8	9.2	9.2	9.1		
2002年3月20日	6.0	5.7	6.1	5.9		
2002年3月22日	7.6	7.1	7.1	7.3		
2002年3月25日	5.6	6.0	6.2	5.9		

2002年3月26日	7.9	7.3	6.5	7.2		
2002年3月28日	9.2	11.2	10.2	10.2		
2002年3月29日	6.9	7.9	6.4	7.1		
2002年3月30日	5.9	6.0	6.5	6.1		
2002年4月1日	6.9	7.1	7.1	7.0	7.1	
2002年4月2日	6.5	7.2	6.8	6.8		
2002年4月3日	7.8	6.9	7.2	7.3		
2002年4月4日	8.2	7.5	7.8	7.8		
2002年4月5日	7.6	7.1	7.0	7.2		
2002年4月6日	6.9	7.9	7.5	7.4		
2002年4月8日	7.9	8.0	6.0	7.3		
2002年4月9日	6.5	7.8	5.7	6.7		
2002年4月10日	7.1	7.4	6.5	7.0		
2002年4月11日	9.0	10.0	8.5	9.2		
2002年4月12日	7.5	6.5	7.8	7.3		
2002年4月13日	6.1	7.9	6.5	6.8		
2002年4月15日	5.5	6.0	8.0	6.5		
2002年4月18日	6.9	6.6	6.0	6.5		
2002年4月19日	6.6	6.4	6.9	6.6		
2002年4月20日	7.7	6.2	7.0	7.0		
2002年4月22日	7.8	6.9	6.3	7.0		
2002年4月23日	6.4	7.3	6.9	6.9		
2002年4月24日	7.4	7.6	7.0	7.3		
2002年4月25日	8.0	7.5	8.4	8.0		
2002年4月26日	6.0	7.0	6.0	6.3		
2002年4月27日	6.5	7.7	7.4	7.2		
2002年5月1日	5.8	6.5	7.1	6.5	6.6	
2002年5月2日	6.6	5.5	7.3	6.5		
2002年5月7日	6.8	7.1	6.1	6.7		
2002年5月8日	7.4	6.9	7.6	7.3		
2002年5月9日	6.2	5.9	6.0	6.0		
2002年5月10日	6.5	5.6	6.5	6.2		
2002年5月13日	6.5	8.1	7.9	7.5		
2002年5月14日	7.4	7.5	6.9	7.3		

2002年5月15日	6.1	7.1	7.4	6.9		
2002年5月16日	9.6	8.8	8.7	9.0		
2002年5月17日	7.4	6.0	7.1	6.8		
2002年5月18日	7.6	7.2	6.0	6.9		
2002年5月20日	6.1	7.6	6.2	6.6		
2002年5月21日	7.3	7.9	7.1	7.4		
2002年5月22日	6.9	7.0	7.1	7.0		
2002年5月23日	6.1	6.4	7.9	6.8		
2002年5月24日	6.7	6.3	6.9	6.6		
2002年5月25日	7.8	6.5	6.9	7.1		
2002年5月27日	7.2	5.7	5.8	6.2		
2002年5月28日	5.9	7.1	6.0	6.3		
2002年5月29日	7.4	7.5	6.4	7.1		
2002年5月30日	7.1	8.1	8.4	7.9		
2002年5月31日	5.9	5.8	7.6	6.4		
2002年6月1日	5.5	6.3	6.1	6.0		
2002年6月3日	6.3	6.0	6.2	6.2		
2002年6月4日	5.5	7.9	6.9	6.8		
2002年6月5日	6.7	5.9	7.1	6.6		
2002年6月6日	6.4	5.5	5.7	5.9		
2002年6月7日	6.9	6.7	6.9	6.8		
2002年6月8日	7.5	6.8	6.9	7.1	6.8	
2002年5月14日	7.4	7.5	6.9	7.3		
2002年6月10日	6.3	7.7	7.2	7.1		
2002年6月12日	8.0	7.7	7.4	7.7		
2002年6月13日	6.6	6.9	6.4	6.6		
2002年6月14日	7.1	6.3	6.2	6.5		
2002年6月15日	7.4	8.1	7.6	7.7		

写真 12-1　メスシリンダー法による試験結果

13.　工事関係者への謝辞

津名プロジェクトは、兵庫県、淡路市、日の出農協、津名開発組合など地域の絶大な協力と支援もあり、良好な造成地を実現する地域事業として発展し、工事は完結した。

津名プロジェクトは、東京での計画業務、津名の現地事務所での準備作業から 1986 年 11 月佐野地区(現、淡路市津名町佐野)に現場事務所を設置、準備工事から設備(投入口、破砕、貯鉱、ベルトコンベア、シップローダー）工事の着手、最先端技術の活用、工事参画者の努力と地域の協力により短期間で完成し、1988 年の稼動以来 2005 年の設備撤去と造成完了まで約四半世紀の長きにわたり、周辺地域を含めた地域産業、兵庫県、津名町（現在は淡路市)、関西国際空港㈱、関西国際空港用地造成㈱など行政関係者をはじめ多くの関係者の参画したものである。稼働当初より１５ヵ年の工事運営など稼働実績は、表 13-1 に示す。

表 13-1　１５年（1988～2002 年）の採土工事稼働実績

年　度		1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	累計
		昭63	平1	平2	平3	平4	平5	平6	平7	平8	平9	平10	平11	平12	平13	平14	
年間出荷量(万m3)		467	822	542	204	222	227	198	78	71	32	136	228	1079	1010	780	6096
土砂出荷状況の特徴		関空一期工事向け出荷			関空一期工事完了後少				阪神淡路大震災後(関空二期準備期間)少量出荷期(月平均7万m					関空二期工事向け出荷			
主な出荷先と出荷量	関西国際空港一期工事							1,350									
	前島地区埋立工事			120													
	芦屋沖埋立工事										330						
	佐野地区埋立工事					360											
	ﾎｰﾄｱｲﾗﾝﾄﾞ埋立工事											190					
	夢洲・咲洲ほか埋立工事										350						
	ﾏﾘﾝﾋﾟｱ神戸埋立工事									70							
	明石大蔵海岸埋立工事										45						
	神戸東部新都心整地工事											35					
	神戸沖埋立処分場護岸築造													230		3,000	
	関西国際空港二期工事																
爆薬の年間消費量(t)		0	18	50	8	28	49	10	0	5	6	10	41	525	442	338	1530
三次元GISを利用した施工管理システム（精密施工法）の計画・導入・実践												計画・準備		実践			
表彰関係	火薬（事業所）			●	協会	●	協会				●	県知事				●	五団体
	火薬（個人）									●	協会	●	協会	協会	●	●	県知事
	安全														●	県労働局長進歩賞	
	技術															●	国土技術開発賞

注）2002年度の年間出荷量は、2003年2月20日時点、爆薬の年間消費量は、2003年1月31日時点の数値である。

その津名プロジェクトの施工を担当した㈱間組、PS 三菱建設、現地に投資した三菱マテリアル㈱と㈱間組、これらの企業を主体に長年の工事運営へ多くの方々が参画した。関空 2 期の準備から最盛期を支えてくれた技術者をはじめとした多くの方々に、感謝の意を表しお礼を申し上げる。工事の運営に技術をはじめ多くの支援と協力を頂いた間組本社、児島道夫元常務、丸岡紘一元副支店長をはじめとした間組大阪支店の関係者に感謝を申し上げる。関空２期への工事を担い、熱意と誠意で成果をあげた間組ピーエス三菱共同企業体の海老原雄志副所長(後の出張所長)、沖政和工事課長、国枝重明工事主任、岩村幸治、清水穂高、小間場康敏、山田実、目黒智也(物古)、難波雅史、松本克哉、西田俊弥、阪田誠将の工事担当と内山広秋課長、嶋村正治主任、澤正樹の機電担当の緻密なる設備管理、辻俊次副所長(安全担当)、奥村敬司工務課長、河野友紀、有田就美、望月孝美、中川明子工務担当と

平清完治課長、山本慎二副所長、藤本匡事務主任、藤田佳久、新居あけみ事務担当など両社参画者の方々にお礼を申し上げる。

情報化による合理化施工を支えた施工 CALS の開発に協力いただいた㈱ジオスケープをはじめとした関係各社の方々に感謝申し上げる。

協力会社として採土工を担当した青山機工㈱、丸磯建設㈱、発破工を担当した興和建設㈱、日本発破技研㈱、桟橋管理を担当した㈱吉田組、㈱樋口組、排水工などを担当した淡路土建㈱、出雲建設㈱、阪神測建㈱など地域を含む多くの企業に感謝申し上げる。

キャタピラー三菱、日立建機、コマツ、ブリジストン、東洋ジャイアントタイヤ、横浜ゴムなど優秀な重機を提供して頂いたメーカーと多くの関係者の方々、特に津名採掘地への重機等の適合性向上へ協力頂いた、小倉正司氏、青木修治氏、笠原準一氏、永井隆夫氏、神田俊彦氏など関係者にお礼申し上げる。中でも、「重機併用ベンチ発破工法」の発案の基になり、採土工の積込みルーチンワークの改善に大きく寄与したのが、関空 1 期施工時の大型バックホウ(コマツ PC1500)のショートリーチ型への改造であり、丸磯建設の白崎寛次郎氏が検討し導入した。その性能の良さから重機併用ベンチ発破工法へ発展したものであり、氏の重機と重機土工に対する造詣に敬意を表し感謝申し上げる。また、本積込み機は関空 2 期工事で、加太、岬などに津名型あるいはハザマ型バックホウと呼ばれ多く採用されたことを付記する。

津名船積み桟橋から関空 2 期造成工事の海域までの海域運航では、日本押船土運船協会を代表とした海運各社の安全航行に採掘地の稼働が支えられ池田和正氏、山崎正一氏をはじめとした多くの企業と関係者の方々に感謝申し上げる。

関空２期海域では、関空協力会など多くの施工 JV の支援と指導を頂きました。当社の関係者では関空２期海域と津名採土地の調整を担当した関空盛砂作業所の辰沢一郎所長、直投その１工事を担当した関空出張所の杉和夫所長、広田正寛副所長、八田直希工事課長、関空護岸作業所の谷川幸生所長(物古)、庄田樹生工事主任、吉田敏文工事主任による関空 2 期造成工事現地での支援と指導に感謝申し上げる。

発破工では年間 500 トンを上回る消費(表 13-2)を行い、安全にトラブルなく消費できたのは兵庫県火薬類保安協会の内藤忠彦専務、竹本弘専務、畠中洋一郎専務、杉尾武専務、歴代の専務の皆様の指導の賜物であり感謝申し上げる。

工事の途上での多くの不具合も皆様のご支援とご協力で乗り切り工事の目的も達成できた。阪神淡路大震災では、工事個所の近傍にある野島断層の起振により、ベルトコンベアをはじめとした設備類の被害も大きく復旧に多大な資源を投入したが、幸い当時の従事者の人身には重大な被害はなく、被害状況も震災発生当日に把握でき短時間で復旧できた。その後、工事従業者と関係者の頑張りで少しの地域貢献ができたことは、悲しくもうれしい記憶である。

表 13-2　発破工関係の１５年（1988～2002 年）稼働実績

年　度		1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	累計
		昭63	平1	平2	平3	平4	平5	平6	平7	平8	平9	平10	平11	平12	平13	平14	
主な出荷先	関西国際空港一期工事	━	━	━	━	━	━										
	前島地区埋立工事	━	━														
	芦屋沖埋立工事	━	━	━	━	━	━	━	━	━							
	佐野地区埋立工事	━	━	━	━												
	ﾎﾟｰﾄｱｲﾗﾝﾄﾞ埋立工事	━	━	━	━	━	━	━	━	━	━						
	夢洲・咲洲ほか埋立工事			━	━	━	━	━	━	━							
	ﾏﾘﾝﾋﾟｱ神戸埋立工事							━	━								
	明石大蔵海岸埋立工事							━	━	━							
	神戸東部新都心整地工事									━	━						
	神戸沖埋立処分場護岸築造											━	━				
	関西国際空港二期工事													━	━	━	
爆薬の年間消費量(t)		0	18	50	8	28	49	10	0	5	6	10	41	525	442	338	1530
発破工法			←	―	―	―	盤打ち発破	―	―	―	―	―	―	重機併用盤打ち発破			
														重機併用ベンチ発破			
															制御発破		
主な取組み	地盤振動計測		←	―	―	―	―	―	―	―	―	―	―	―	―	→	
	低周波振動計測													←	―	→	
	危険体験実験				●		●	●	●	●	●		●	●	●	●	
	本支店パトロール		←	―	―	―	―	―	―	―	―	―	―	―	―	→	
	淡路採土業者協議会		←	―	―	―	―	―	―	―	―	―	―	―	―	→	
	協力会社母店パトロール												←	―	―	→	
	兵庫県火薬類保安協会視察														●		
表彰関係	火薬（事業所）			●	協会	●	協会				●	県知事				●	五団体
	火薬（個人）									●	協会	●	協会	協会	●	●	県知事
	安全														●	県労働局長進歩賞	
	技術															●	国土技術開発賞

注）爆薬の年間消費量は、2003年1月31日時点の数値である。

筆者にとって、この工事、この研究を通じ、一つ一つ多くの方々との出会いがあった。求められることは、その技術、技術者として必要の証しであり、いかに実現させるか、この取り組みの繰り返しが土木技術者として地域をはじめとした社会での実践であった。「地域に根ざした多くの資産を大切に活用し工事目的を叶えること」の原点を忘れずに土木技術者として研究者として建設マネジメントの発展に微力ながら携わっていく所存である。

おかげさまで、地域の支援と協力、参画した協力会社の熱意と努力、発注者をはじめとした多くの方々のご支援のおかげで津名プロジェクトは完成し造成引き渡しまでを完了できた。今後の造成地の活用による地域振興と淡路市の発展を期待し結語とする。

以上